

普通高等教育电气类规划教材

发电厂及变电站 二次回路

郭明良 主编 王越明 副主编

FADIANCHANG JIBIANDIANZHAN
ERICI HUILU

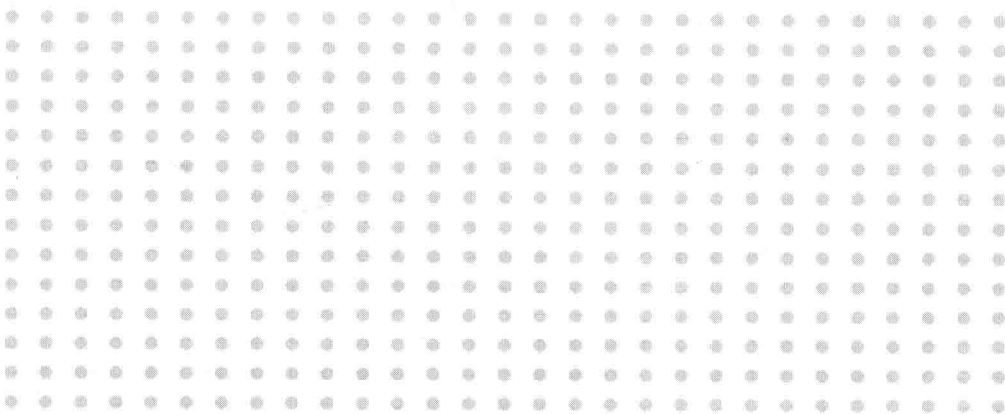


化学工业出版社

普通高等教育电气类规划教材

发电厂及变电站 二次回路

郭明良 主编 王越明 副主编



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

发电厂及变电站二次回路/郭明良主编. —北京:
化学工业出版社, 2016. 7
普通高等教育电气类规划教材
ISBN 978-7-122-27042-9

I. ①发… II. ①郭… III. ①发电厂-二次系统
②变电所-二次系统 IV. ①TM645. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 099860 号

责任编辑: 高墨荣
责任校对: 王素芹

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 196 千字 2016 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

电力系统是国民经济的重要能源部门，它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输电、变电和配电将电能供应到各用户。为实现这一功能，电力系统在各个环节和不同层次还具有相应的信息与控制系统，对电能的生产过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，以保证用户获得安全、经济、优质的电能。二次回路即在电力系统中起保护、控制、测量、监察的重要作用，它在保证电力生产的安全，向用户提供合格的电能等方面都起着极其重要的作用。

本书在编写过程中，以有关国家标准、行业标准和专业性文件为指导，收集了近年来与本书有关的技术资料结合现场实际，加以整理、补充和完善。

本书共9章，较全面系统地介绍了发电厂及变电站二次回路的组成、工作原理。内容主要包括二次回路的基本概念及接线图、互感器及其二次回路、测量回路、同步系统、断路器的控制与信号电路、隔离开关的控制和闭锁电路、中央信号及其他信号系统、发电机及变压器的二次回路、操作电源系统等，内容深入浅出，简明扼要，方便读者选择学习阅读。

本书适合作大专院校电气工程等专业教学用书和电力工程技术人员的培训教材，亦可作为广大从事电气二次回路设计、安装、运行和调试的工程技术人员参考用书。

本书由黑龙江科技大学郭明良任主编。王越明任副主编。全书共9章，第1章、第2章、第8章由黑龙江科技大学郭明良编写，第3~6章由黑龙江科技大学王越明编写，第7章、第9章由黑龙江科技大学王朋编写，杨庆江同志主审。

读者如需要本书的电子课件，可发邮件至 wym-angle@163.com。

由于水平有限，时间仓促，疏漏及不妥之处在所难免，恳请读者指正。

第1章 二次回路概述

1

- 1.1 二次回路的基本概念 1
- 1.2 二次回路的接线图 3
 - 1.2.1 原理接线图 3
 - 1.2.2 展开接线图 5
 - 1.2.3 安装接线图 6

第2章 互感器及其二次回路

7

- 2.1 电压互感器及其二次回路 7
 - 2.1.1 电压互感器的基本知识 8
 - 2.1.2 电压互感器的二次回路 12
- 2.2 电流互感器 18
 - 2.2.1 电流互感器的分类及特点 18
 - 2.2.2 电流互感器的接线方式 21
 - 2.2.3 电流互感器的误差和准确度 22
 - 2.2.4 电流互感器选择和配置应符合的要求 23
 - 2.2.5 电流互感器二次回路的要求 23

第3章 测量回路

25

- 3.1 测量回路 25
 - 3.1.1 电流测量回路 26
 - 3.1.2 电压测量回路 27
 - 3.1.3 功率测量回路 28
- 3.2 电能的测量回路 35
 - 3.2.1 一般规定 35
 - 3.2.2 有功电能的计量 36
 - 3.2.3 无功电能的计量 38

3.3 交流电网绝缘监察装置	42
----------------------	----

第4章 同步系统

45

4.1 同步系统概述	45
4.1.1 同步并列的方法	45
4.1.2 同步点的设置	46
4.2 同步测量表计及其接线	48
4.2.1 1T1-S型电磁式同步表	48
4.2.2 组合式同步表	51
4.3 同步电压的引入	53
4.3.1 三相接线方式同步电压的引入	53
4.3.2 单相接线方式同步电压的引入	56
4.4 手动准同步并列电路	60
4.4.1 组合同步表测量电路	60
4.4.2 待并发电机调速电路	61
4.4.3 同步闭锁电路	62
4.4.4 同步点断路器的合闸回路	63
4.5 同步合闸的断路器控制回路	64

第5章 断路器的控制与信号回路

66

5.1 概述	66
5.1.1 断路器的操作机构	66
5.1.2 断路器的控制类型	67
5.2 断路器的控制信号回路	68
5.2.1 断路器控制回路总的要求	68
5.2.2 控制开关	69
5.2.3 断路器的基本控制回路	72
5.2.4 断路器的防跳回路	73
5.2.5 断路器的位置指示回路	74
5.2.6 事故音响信号启动回路	76
5.2.7 断路器控制回路完好性的监视	77
5.3 断路器的实用控制与信号回路	78
5.3.1 灯光监视的断路器控制与信号回路	78
5.3.2 音响监视的断路器控制与信号回路	83

第6章 隔离开关的控制回路

85

6.1 隔离开关的控制及信号回路	85
6.1.1 隔离开关的控制回路	85
6.1.2 隔离开关的信号回路	87
6.2 隔离开关的电气闭锁回路	88

第7章 中央信号及其他信号系统

92

7.1 概述	92
7.1.1 信号的分类	92
7.1.2 中央信号的形式及信号回路应满足的要求	93
7.2 中央信号系统	93
7.2.1 事故信号	93
7.2.2 预告信号	103
7.3 发电机指挥信号	109

第8章 发电机及变压器的二次回路

111

8.1 发电机的二次回路	111
8.1.1 MLZ-1CW 型无刷励磁系统的控制回路	111
8.1.2 复式励磁系统控制、测量及信号原理接线图	118
8.2 变压器的二次回路	118
8.2.1 强迫油循环风冷却器控制回路	118
8.2.2 变压器有载调压回路	122

第9章 操作电源

125

9.1 概述	125
9.1.1 对操作电源的基本要求	125
9.1.2 操作电源的分类	125
9.1.3 直流负荷的分类	127
9.2 蓄电池直流系统	128
9.2.1 蓄电池的容量及放电率	129
9.2.2 蓄电池直流系统的分类	130

3.3 交流电网绝缘监察装置	42
----------------------	----

第4章 同步系统

45

4.1 同步系统概述	45
4.1.1 同步并列的方法	45
4.1.2 同步点的设置	46
4.2 同步测量表计及其接线	48
4.2.1 1T1-S型电磁式同步表	48
4.2.2 组合式同步表	51
4.3 同步电压的引入	53
4.3.1 三相接线方式同步电压的引入	53
4.3.2 单相接线方式同步电压的引入	56
4.4 手动准同步并列电路	60
4.4.1 组合同步表测量电路	60
4.4.2 待并发电机调速电路	61
4.4.3 同步闭锁电路	62
4.4.4 同步点断路器的合闸回路	63
4.5 同步合闸的断路器控制回路	64

第5章 断路器的控制与信号回路

66

5.1 概述	66
5.1.1 断路器的操作机构	66
5.1.2 断路器的控制类型	67
5.2 断路器的控制信号回路	68
5.2.1 断路器控制回路总的要求	68
5.2.2 控制开关	69
5.2.3 断路器的基本控制回路	72
5.2.4 断路器的防跳回路	73
5.2.5 断路器的位置指示回路	74
5.2.6 事故音响信号启动回路	76
5.2.7 断路器控制回路完好性的监视	77
5.3 断路器的实用控制与信号回路	78
5.3.1 灯光监视的断路器控制与信号回路	78
5.3.2 音响监视的断路器控制与信号回路	83

第6章 隔离开关的控制回路

85

6.1 隔离开关的控制及信号回路	85
6.1.1 隔离开关的控制回路	85
6.1.2 隔离开关的信号回路	87
6.2 隔离开关的电气闭锁回路	88

第7章 中央信号及其他信号系统

92

7.1 概述	92
7.1.1 信号的分类	92
7.1.2 中央信号的形式及信号回路应满足的要求	93
7.2 中央信号系统	93
7.2.1 事故信号	93
7.2.2 预告信号	103
7.3 发电机指挥信号	109

第8章 发电机及变压器的二次回路

111

8.1 发电机的二次回路	111
8.1.1 MLZ-1CW型无刷励磁系统的控制回路	111
8.1.2 复式励磁系统控制、测量及信号原理接线图	118
8.2 变压器的二次回路	118
8.2.1 强迫油循环风冷却器控制回路	118
8.2.2 变压器有载调压回路	122

第9章 操作电源

125

9.1 概述	125
9.1.1 对操作电源的基本要求	125
9.1.2 操作电源的分类	125
9.1.3 直流负荷的分类	127
9.2 蓄电池直流系统	128
9.2.1 蓄电池的容量及放电率	129
9.2.2 蓄电池直流系统的分类	130

9.2.3	蓄电池直流系统的运行方式	131
9.2.4	镉镍蓄电池的直流系统	132
9.3	硅整流电容储能直流系统	134
9.3.1	硅整流电容储能直流系统	134
9.3.2	储能电容器的检查装置	136
9.4	直流系统监察装置和电压监视装置	137

附录

143

附录一	电气常用新旧图形符号对照表	143
附录二	电气常用新旧文字符号对照表	150
附录三	小母线新旧文字符号及其回路标号	152

参考文献

154

第 1 章

二次回路概述

1.1 二次回路的基本概念

电力系统是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置转化成电能，再经输电、变电和配电将电能供应到各个用户。为实现这一功能，电力系统在各个环节和不同层次还具有相应的信息与控制系统，对电能的生产过程进行测量、调节、控制、保护、通信和调度，以保证用户获得安全、经济、优质的电能。电力系统示意图如图 1-1 所示。

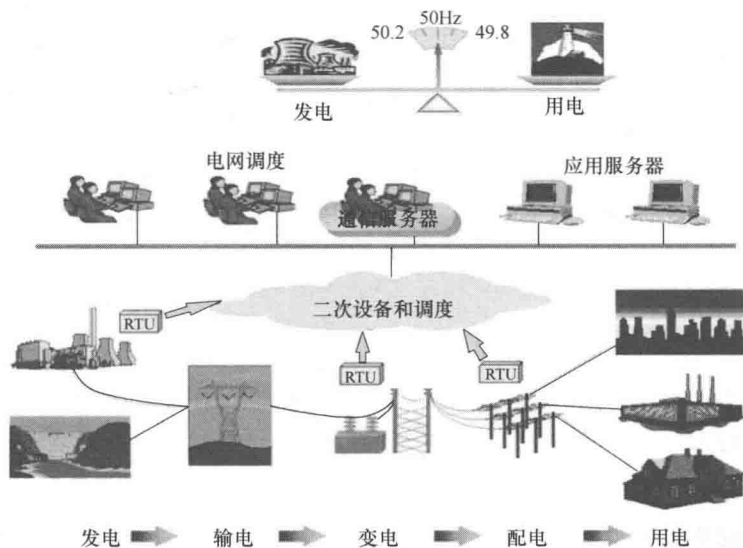


图 1-1 电力系统示意图

电力系统中完成发电、输电、变电、配电功能的设备称为一次设备（或主设备），一次设备有发电机、变压器、母线、输配电线路、断路器、隔离开关、电抗器、电压互感器、电流互感器、避雷器、高压熔断器等；完成测量、调节、控制、保护等功能

的低压设备称为二次设备（也称辅助设备），二次设备包括测量仪表、控制和信号器具、继电保护装置、自动装置、远动装置、操作电源、控制电缆和熔断器等。

发电厂或变电站内一次设备按照工作关系互相连接而构成的电路称为一次回路（或主回路），而把二次设备相互连接而构成的电路称为二次回路。

二次回路的基本任务是反映一次设备的工作状态、控制和调节一次设备，并且当一次设备发生故障时，能使故障部分迅速退出工作，以保证电力系统正常运行。二次回路是电力系统安全生产、经济运行、可靠供电的重要保障，是发电厂和变电所中不可缺少的重要组成部分。

二次回路由以下六部分组成，即控制回路、信号回路、测量回路、调节回路、继电保护和自动装置回路以及操作电源回路。

(1) 控制回路

由控制开关、控制对象（断路器、隔离开关）的传递机构及操作（或执行）机构组成。其作用是对一次开关设备进行“跳闸”或“合闸”操作。

控制回路按控制距离可分为就地控制和距离控制两种；按自动化程度可分为手动控制和自动控制两种；按控制方式可分为集中控制和分散控制两种，对于集中控制又分为“一对一”控制和“一对N”的选线控制两种，而对于分散控制只有“一对一”；按电源的性质可分为交流操作和直流操作两种；按电源电压和电流的大小可分为强电控制和弱电控制两种，强电控制采用较高电压（直流110V或220V）和较大电流（交流5A），弱电控制采用较低电压（直流60V以下，交流50V以下）和较小电流（交流0.5~1A）。

(2) 信号回路

由信号发送机构、传送机构及信号器具组成。其作用是反映一、二次设备的工作状态。信号回路按信号性质可分为事故信号、预告信号、指挥信号和位置信号；按信号的显示方式可分为灯光信号和音响信号两种；按信号的复归方式可分为手动复归和自动复归两种。

(3) 测量回路

由各种测量仪表及其相关回路组成。其作用是指示或记录一次设备的运行参数，方便运行人员掌握一次设备的运行状况。

(4) 继电保护和自动装置回路

由测量部分、逻辑部分和执行部分组成。作用是自动判别一次设备的运行状态，在系统发生异常运行或故障时，发出异常运行信号或自动跳开断路器（切除故障）。当故障或异常运行状态消失后，快速投入断路器，恢复系统正常运行。

(5) 调节回路

由测量机构、传送机构、调节器和执行机构组成。作用是根据一次设备运行参

数的变化，实时在线调节一次设备的工作状态，以满足运行要求。

(6) 操作电源系统

由电源设备和供电网络组成，包括直流电源和交流电源系统。作用是供给上述回路工作电源。发电厂和变电站的操作电源多采用直流电源系统（简称直流系统），部分小型变电站也可采用交流电源或整流电源（如硅整流电容储能或电源变换式直流系统）。

1.2 二次回路的接线图

二次回路的接线图是发电厂和变配电所的重要技术资料，为了能够满足订货、安装、运行的要求，绘制二次回路接线图必须以国家规定通用的图形符号和文字符号来表示二次设备的互相连接关系，图中所有开关电器是按照它们断路时的状态来表示的，继电器和接触器的触点都按照它们线圈无电压失磁的状态来表示。二次回路接线图按用途和绘制方法的不同，一般分为原理接线图、展开接线图、安装接线图 and 解释性图四种。

1.2.1 原理接线图

原理接线图是用来表示仪表、继电器、控制开关、信号装置、自动装置等二次设备和电源装置的电气联系及相互动作的顺序和工作原理的电气回路图。原理接线图在表示二次回路的工作原理时，主要有以下特点。

① 二次接线和一次接线的相关部分画在一起，原理接线图中所有电气元件都是以整体的形式表示（线圈与触点画在一起），其相互联系的电流回路、电压回路和直流回路，都综合在一起，能表明二次设备的构成、数量及电气连接情况，使看图者对整个装置的构成有一个明确的整体概念。

② 用统一的图形和文字符号表示，按动作顺序画出，便于分析动作原理，使看图者对动作过程有一个明确的概念。原理接线图是绘制展开接线图等其他工程图的原始依据。

下面以 35kV 线路过电流保护原理接线图为例，说明原理接线图的特点。图 1-2 所示为 35kV 线路过流保护原理接线图，由图可见，整套保护由四只继电器组成，两只电流继电器 KA1、KA2，一只时间继电器 KT 及一只信号继电器 KS。元件及功能和装置的动作原理如下。

(1) 元件及功能

① 电流互感器 (TA2)：其一次绕组流过系统大电流 I_1 ，二次绕组中流过变换了的小电流 I_2 ， I_2 的额定值为 5A。

② 电流继电器 (KA)：其线圈接于 U、W 相电流互感器的二次绕组回路中，线圈流过电流互感器的二次电流 I_2 ，当 I_2 达到电流继电器的动作值时，其动合触

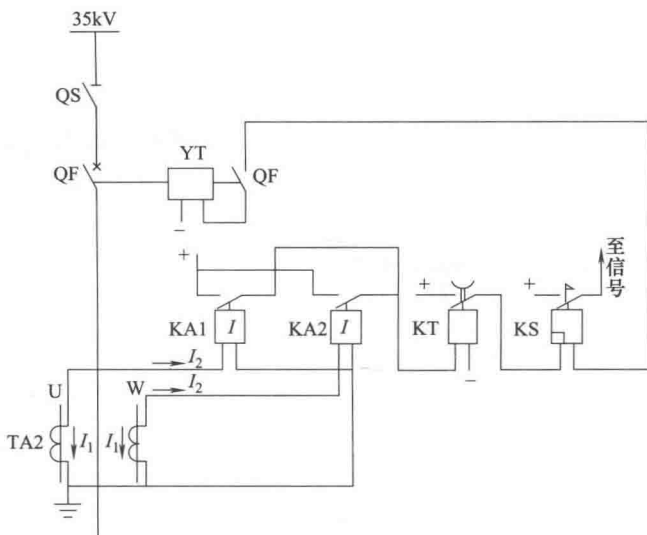


图 1-2 35kV 线路过流保护原理接线图

点闭合，接通外电路。

③ 时间继电器 (KT): 线圈通电，其动合触点延时闭合，接通外电路。

④ 信号继电器 (KS): 线圈通电，其动合触点闭合，接通信号回路，且掉牌，以便值班人员辨识其动作与否。信号继电器动作后，其动合触点不能自动复归而需手动复归，以便准备下一次动作。

⑤ 断路器跳闸线圈 (YT): 线圈通电，断路器跳闸。

⑥ 断路器的触点 (QF): 合闸线圈通电，断路器主触点接通大电流，其辅助触头相应切换。动合触点闭合，接通外电路，同时动断触点断开，切断外电路。

(2) 动作原理

当出现相间短路时，电流互感器一次侧 U 相或 W 相绕组流过一次短路电流，其二次绕组感应出 I_2 流经电流继电器线圈，电流继电器动作，其动合触点闭合，将由直流操作电源正母线来的电源加在时间继电器 KT 的线圈上，时间继电器 KT 启动，经一定时限后其延时动合触点闭合，正电源经过其触点和信号继电器 KS 的线圈以及断路器的动合辅助触点 QF 接至断路器的跳闸线圈。信号继电器 KS 的线圈和跳闸线圈 YT 中有电流流过。两者同时动作，跳闸线圈 YT 动作使断路器 QF 跳闸，信号继电器 KS 动作发出信号。

原理接线图主要用于表示继电保护和自动装置的工作原理和构成这套装置所需要的设备，没有给出元件的内部接线及元件引出端子编号和回路编号，直流部分只是标出电源的极性，没有具体表示出从哪一组熔断器下面引出的，图中信号部分也只标出了“至信号”，而没有画出具体的接线。因此只可作为二次接线设计的原始依据，而不能作为二次回路的施工图。

1.2.2 展开接线图

展开接线图是根据原理接线图绘制的，展开接线图是将二次设备按其线圈和触点的接线回路展开分别画出，组成多个独立回路，是安装、调试和检修的重要技术图纸，也是绘制安装接线图的主要依据。展开接线图的特点如下。

① 按不同电源划分成多个独立回路，例如：交流回路，又分为电流回路和电压回路，都是按 U、V、W、N 相序分别排列的；直流回路，又分为控制回路、合闸回路、测量回路、保护回路和信号回路等。在这些回路中，各继电器（装置）的动作顺序是自上而下，自左向右排列的。

② 在图形的上方或右侧有对应的文字说明（说明回路名称和用途等），便于分析和读图。展开图中各元件都有国家统一规定的图形符号和文字符号，附录一给出二次回路中常用到的图形符号。

③ 各导线、端子都有统一规定的回路编号和标号，便于分类查线、维修和施工。回路编号见附录三。

下面以 35kV 线路过电流保护展开接线图为例，说明展开接线图的特点。图 1-3 所示是根据图 1-2 所示的原理图绘制的展开接线图。图 1-3 (a) 为与保护回路有关的 35kV 输电线路一次系统的示意图，表示出保护的對象以及所用的电流互感器；图 1-3 (b) 为交流电流回路，这个回路是整套保护的测量部分，作为保护用的电流互感器 TA2 的二次绕组为该电流回路的电源，U 相和 W 相各接入一只电流继电器线圈 KA1、KA2，由公共线 N421 连成回路，构成不完全星形接线，U421、W421、N421 为回路编号；图 1-3 (c) 为直流回路，左、右侧的竖线表示正、负电源，正、负电源是由变电所直流屏引出的，构成操作电源的正电源小母线（+）、负电源小母线（-），经熔断器 1FU、2FU 引下，分别用编号 101 和 102 标出。所有回路分别列于正、负电源之间，其动作顺序从左到右，从上到下。M703、M716 为掉牌未复归小母线。整套保护动作顺序为：当被保护线路上发生短路时，交流电流回路中的电流继电器 KA1 或 KA2 动作，其在直流回路中的动合触点 KA1 和 KA2 闭合，两者只要有一个闭合就启动时间继电器 KT 的线圈；时间继电器动作后其接于跳闸回路的延时闭合触点经过整定时限后闭合，由于此时断路器在合闸状态，其与主轴联动的常开辅助触点 QF 是闭合的，因而跳闸线圈 YT 中有电流流过，使断路器跳闸。同时串联于跳闸回路中的信号继电器 KS 动作并掉牌，其在信号回路中的触点 KS 闭合，接通小母线 M703 和 M716，M703 接信号正电源，M716 经光字牌的信号灯接负电源，光字牌点亮，显示“掉牌未复归”的灯光信号。

比较图 1-2 和图 1-3 可见，展开接线图接线清晰，动作程序层次分明，容易跟踪回路的动作顺序。由于原理接线图不能作为施工图，所以展开接线图得到了广泛的应用。展开接线图为制造、安装、运行的重要技术图纸，也是绘制安装接线图的主要依据。

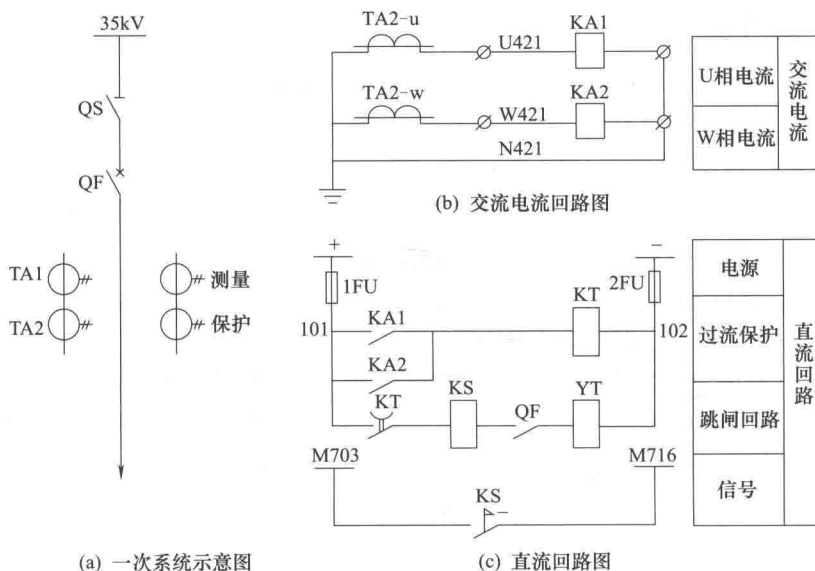


图 1-3 35kV 线路保护展开接线图

1.2.3 安装接线图

安装接线图是根据展开接线图绘制的，是制造厂生产加工控制屏（台）、继电保护屏和现场安装施工用的图，也是检修、运行试验等的主要参考图。安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图和端子排图。

屏面布置图是指从屏的正面看将各安装设备和仪表的实际安装位置、外形尺寸及中心线的尺寸按比例绘出，并附有设备表，以便制造厂备料和安装加工的正视图。它是屏背面接线图的依据，此图是表示屏上各个元件二次设备位置、设备的排列关系及相互间距离尺寸的施工图。不论是设备外形尺寸、设备相互间距离尺寸，还是屏台外形尺寸，均按同一比例绘制。图中各设备的排列位置和相互间尺寸要和设计位置相符。

屏背面接线图是人站在屏后面看到的二次设备位置及排列顺序，其二次设备左右方向的排列顺序与屏正面布置图中设备排列顺序正相反。它表明屏内各设备之间的连接情况，以及和端子排的连接情况；标明各设备的代号、安装单位和型号规格，较复杂的设备应绘出设备内部接线图。

端子排图（从屏背后看）表明屏内设备与屏外设备连接情况以及屏上需要装设的端子类型、数目以及排列顺序的图。

安装接线图中各种仪表、继电器、开关、指示灯等元件以及连接导线，都是按照它们的实际位置和连接关系绘制的，为了施工和运行中检查的方便，所有设备的端子和导线都注有走向标志和编号。

第 2 章

互感器及其二次回路

互感器是一种电量传变装置，是一种特殊用途的变压器，通过互感器可将电压或电流按规定比例改变而频率保持不变，给测量仪器、仪表或保护和自动装置供电，是连接一次和二次设备的纽带。互感器分为电压互感器（TV）与电流互感器（TA）两大类。互感器的主要用途如下。

① 电压互感器将一次高电压变换为二次标准的低电压，电流互感器将一次大电流变换为二次标准的小电流，如果与测量仪器、仪表配合，则可测量电力设备的电压、电流和功率（或电能）；而与继电器或其他控制、保护设备配合，可对系统的重要电力设备进行过电压、过电流和接地故障保护。

② 应用互感器，使测量仪表及保护装置得以与系统的高电压隔离，保证操作人员和设备的安全，同时可使测量仪表、继电保护及自动装置标准化、小型化。

2.1 电压互感器及其二次回路

电压互感器和变压器很相像，都是用来变换电压，但是变压器变换电压的目的是输送电能，因此容量很大，一般都是以 $kV \cdot A$ （千伏·安）或 $MV \cdot A$ （兆伏·安）为计算单位，而电压互感器变换电压的目的，主要是用来给测量仪表和继电保护装置供电，用来测量电压、功率和电能，或者用来在线路发生故障时保护线路中的贵重设备、电机和变压器，因此，电压互感器的容量很小，一般只有几伏安、几十伏安，最大也不超过 $1000V \cdot A$ 。

图 2-1 所示为电压互感器工作原理接线图，电压互感器的一次线圈匝数 N_1 较多，而二次线圈匝数 N_2 较少。工作时，一次线圈并联在供电系统的一次回路中，二次线圈并联测量仪表和继电器的电压线圈，由于这些电压线圈的阻抗很大，所以电压互感器工作时二次线圈接近于空载状态。

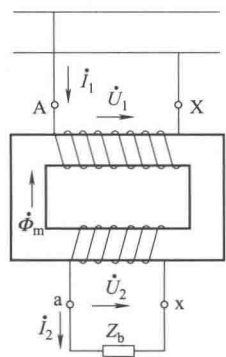


图 2-1 电压互感器
工作原理接线图