第一章　绪　论

本　章　要　点

1. 现代电力系统的特点；
2. 现代电力系统综合自动控制的主要内容。

一、现代电力系统的特点

随着电力工业的发展，现代电力系统与传统的电力系统相比，发生了根本性的变化。无论是从电力系统的构成还是从运行上看，都呈现出一些新特点。

(一)现代电力系统的构成特点

由于电力系统的规模越来越大，故使得电力系统的结构越来越复杂。

电力系统的规模大体现在两方面，一方面是单机容量越来越大，我国目前最大的火电机组单机容量为 60万 kW，世界上最大单机容量的火电机组是 270 万 kW。另一方面是电网规模越来越大，为了合理利用能源，提高经济效益，一些孤立的、较小的电力系统也逐步联合起来形成联合电力系统，如我国目前的东北、华北、华东、华中、西北、西南和两广等七个跨省的大区联合电力系统，以后将逐步形成全国性的超级联合电力系统，国外甚至还有国际间跨国的大规模联合电力系统（如美国北部和加拿大联网）。可以看到，电力系统的规模在不断加大。

联合电力系统的建立，不只是规模巨大的问题，而且还导致电力系统的结构越来越复杂，电站类型增多，如火电厂、水电厂、核电厂、坑口电厂、潮汐发电、抽水蓄能电站等。由于经济原因，一些电站远离负荷中心，要采用超高压交流或直流的远程输电，形成超高压交、直流混合系统。同时电压等级层次增加，构成系统部件数量增多，环网重叠等，使电力系统结构更加复杂。由于电力系统规模大、电网结构复杂，因而对电力系统运行水平的要求愈来愈高。

(二)现代电力系统的运行特点

电能生产、传输和分配过程中遵循着功率平衡的原则。所以发电厂、变电所、输配电线路和用户构成的电力系统是一个联系十分紧密的有机整体，任何一个环节发生故障都会影响到电力系统的稳定运行，严重时会造成恶性事故，导致系统崩溃。大规模电力系统结构的复杂性必然导致系统运行的复杂性和多变性。从经济运行角度说，电网愈大，经济运行问题愈复杂，不可能依赖调度人员的经验和直观判断来处理复杂多变的突发事件，必须借助计算机系统和相应理论及相关装置来实现。由于实现系统经济运行能带来巨大的经济效益，因此，电力系统利用计算机控制系统来实现全面的在线经济调度是人们所期望的目标。从安全方面来说，大规模电力系统由于结构复杂，出故障率增加，故障影响面广，要求利用计算机进行实时事故处理。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

随着计算机技术和其他新技术在电力系统中的应用，赋予电力系统自动化新的概念和内容，使电力系统综合自动控制的水平更高。大规模电力系统和基于计算机的自动控制技术相结合，构成现代电力系统的全部含义。

二、现代电力系统综合自动控制的总目标和主要内容

现代电力系统综合自动控制的总目标是：保证供电质量，提高供电可靠性，保证电力系统安全运行和经济运行。为了实现这一总目标，电力系统综合自动控制的主要内容包括三个方面。

（1）频率和有功功率综合自动控制。通过电厂的基本调频（调速）装置（发电机转速自动控制系统），维持系统频率在额定值运行，控制地区系统间联络线上的交换功率为协议限定的数值，同时在满足系统安全运行的前提下，控制参与经济运行的电厂或机组出力为最经济状态。

（2）电压和无功功率综合自动控制。通过电厂或变电所的基本调节装置（同步发电机的自动调节励磁系统）或无功补偿装置等，维持监视点电压为给定值，尽量使无功功率就地平衡，避免长距离输送较大的无功功率引起过多的电压损耗和线损，使无功旋转备用在系统各地区均匀分布，防止因局部故障造成电压崩溃。

（3）开关操作综合自动控制。为确保电力系统安全运行，避免误操作引起事故而造成重大经济损失，减轻运行人员劳动强度等。根据电力系统不同运行状态，开关操作综合自动控制可分为两类。

1）正常和恢复状态开关操作自动控制，是指电力系统自动并列操作（发电机与系统并列、系统两部分之间的并列），备用电源自动投入，自动重合闸操作等。

2）事故紧急状态开关操作自动控制（又称安全自动控制），是指自动按频率减负荷操作，低频自起动发电机操作、自动切机、自动解列及电气制动投切操作等。

三、本课程的主要内容

根据教学大纲要求，结合电力系统的实际运行水平，本教材主要讲述电力系统中已广泛使用的常规自动装置，这些装置对保证电能质量、提高供电可靠性和系统经济运行水平起着至关重要的作用。本书各章内容如下。

第二章备用电源自动投入装置。通过典型接线讲述备用电源自动投入装置的作用、对其的基本要求、工作原理及动作行为分析。

第三章输电线路的自动重合闸装置。讲述了自动重合闸的作用、对其的基本要求、电气式三相一次重合闸的原理、双侧电源线路的自动重合闸、重合闸与继电保护的配合及综合重合闸的基本概念等。

第四章按频率自动减负荷装置。讲述按频率自动减负荷装置的作用、减负荷的原理、装置接线及防误动措施等。

第五章同步发电机的自动并列装置。讲述并列的方法、条件、要求，整步电压的特点及 ZZQ—5 型自动准同步并列装置的工作原理。

第六章同步发电机的自动调节励磁装置。以大机组励磁系统为例，讲述同步发电机自动调节励磁系统的构成，自动调节励磁装置的作用及工作原理。

第七章故障录波装置。以微机型故障录波装置为例，讲授故障录波装置的作用、工作原理、使用方法及波形分析。

复 习 思 考 题

1. 现代电力系统的内涵是什么？
2. 现代电力系统综合控制的总目标是什么？包含哪几个方面的内容？

第二章　备用电源自动投入装置

本　章　要　点

1. 备用电源自动投入装置的作用。
2. 对备用电源自动投入装置的要求。
3. 备用电源自动投入装置的原理接线图及动作行为分析。

第一节　备用电源自动投入装置的作用

电力系统许多重要场合对供电可靠性要求很高，采用备用电源自动投入装置是提高供电可靠性的重要方法。所谓备用电源自动投入装置，就是当工作电源因故障被断开后，能自动将备用电源迅速投入工作的装置，简称 AAT 装置。

图 2-1 所示为电力系统使用 AAT 装置的几种典型一次接线图。

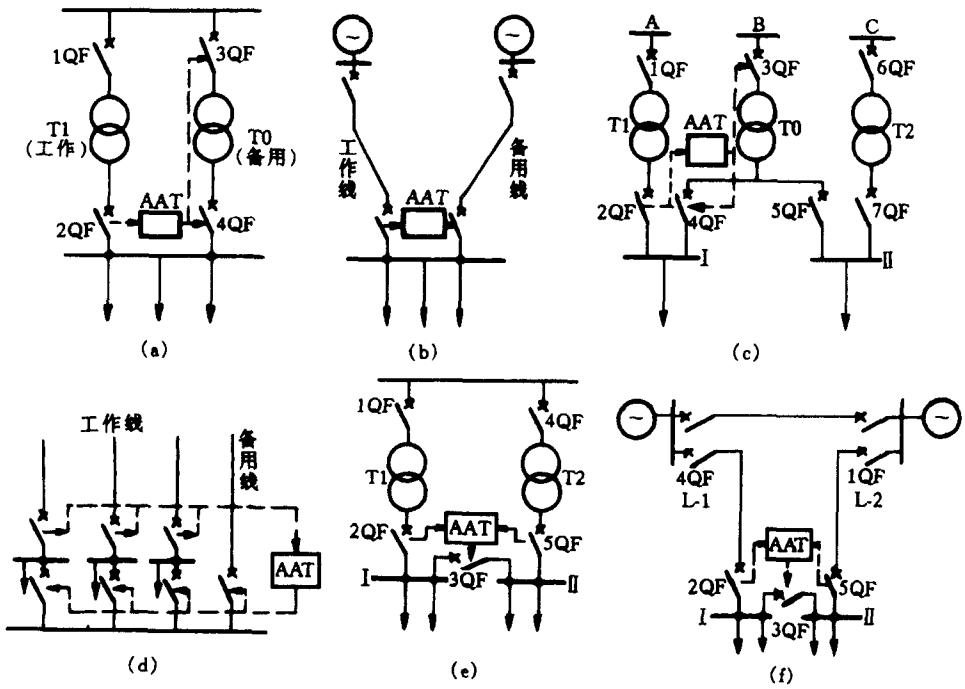


图 2-1　使用 AAT 装置典型一次接线图

(a)、(b)、(c)、(d) 明备用；(e)、(f) 暗备用

注：输入 AAT 装置箭头示意 QF 跳闸信号，输出 AAT装置箭头示意发给 QF 合闸信号。

图 2-1（a）所示为备用变压器自动投入的典型一次接线图。图中 T1 为工作变压器

T0 为备用变压器。正常情况下 1QF、2QF 闭合，T1 投入运行，3QF、4QF 断开，T0 不投入运行，工作母线由 T1 供电；当工作变压器 T1 发生故障时，T1 的继电保护动作，使 1QF、2QF 断开，然后 AAT 装置动作将 3QF、4QF 迅速闭合，使工作母线上的用户由备用变压器 T0 重新恢复供电。

又如图 2-1（f）所示的接线，正常情况下变电所的Ⅰ段和Ⅱ段母线分别由线路 L-1 和 L-2 供电，分段断路器 3QF 断开。当线路 L-1 发生故障时，线路 L-1 的继电保护动作将断路器 1QF、2QF 断开，然后 AAT 装置动作将分段断路器 3QF 迅速闭合，使接在Ⅰ段母线上的用户由线路 L-2 重新恢复供电。

比较图 2-1 中各种使用 AAT 装置的典型一次接线图可知，其备用电源的备用方式有所不同，其中第一种备用方式是装设正常情况下断开着的备用电源（用备用变压器或备用线），如图 2-1（a）、（b）、（c）、（d）所示，称明备用方式。其特点是备用可靠性高，广泛用于发电厂厂用电和变电所所用电。为提高备用电源的利用率，一个备用电源可同时作为两段或几段工作电源的备用。另外一种备用方式是不装设正常情况下断开着的备用电源，而是在正常情况下工作的分段母线间，靠分段断路器取得相互备用，如图 2-1（e）、（f）所示，称暗备用方式。在暗备用方式中，每个工作电源的容量应根据两个分段母线的总负荷来考虑，否则在 AAT 动作后，要减去相应负荷。

从图 2-1 所示接线的工作情况可以看出，采用 AAT 装置后有以下优点：

（1）提高用户供电可靠性。

（2）简化继电保护。采用 AAT 装置后，环形供电网可以开环运行，见图 2-1（f），变压器可以解列运行，见图 2-1（e），继电保护的方向性等问题可不考虑。

（3）限制短路电流，提高母线残余电压。在受端变电所，如果采用变压器解列运行或环网开环运行，显然出线故障时短路电流要减小，供电母线残余电压相应提高一些。这对保护电气设备、提高系统稳定性有很大意义。

由于 AAT 装置在提高供电可靠性方面作用显著，装置本身接线简单、可靠性高、造价低，所以在发电厂、变电所及工矿企业中得到了广泛的应用。

第二节　对备用电源自动投入装置的基本要求

在发电厂和变电所，装设在不同场合下 AAT 装置的接线可以有各种不同的接线方案，但对其接线的基本要求却相同，分述如下：

1. 起动条件

工作母线或设备上电压不论因任何原因消失，AAT 装置均应起动。以图 2-1（c）为例，工作母线Ⅰ段或Ⅱ段失去电压的原因如下：工作变压器 T1 或 T2 发生故障；Ⅰ段或Ⅱ段母线发生短路故障；Ⅰ段或Ⅱ段母线上的出线发生短路故障而出线断路器没有断开；因操作机构、控制回路或者保护回路等原因，使断路器 1QF、2QF 或 6QF、7QF 误跳闸；系统侧故障使工作母线 A 或 C 失去电压等。所有这些情况 AAT 装置都应动作，使备用变压器 T0 投入工作，以提高用户供电可靠性。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

为实现这一要求，AAT 装置应设有独立的低电压起动部分。

2．动作前提

检查工作电源确已断开后，AAT 装置才动作，以保证 AAT装置动作的成功率。当供电元件发生故障、工作母线失去电压，工作母线受电侧的断路器未断开就投入备用电源时，可能会扩大事故范围，加重设备的损害程度，起不到 AAT 装置的作用。在设计 AAT 装置时要考虑此因素。如在图 2-1（c）中，当 T1 发生短路故障，Ⅰ段母线失去电压时，一定要在 2QF 断开后，3QF、4QF 才能合闸。

实现这一要求的措施是：AAT 装置起动回路可由供电元件受电侧断路器辅助动断触点起动。当供电元件受电侧断路器断开后，起动回路通电，AAT 装置才动作。在图 2-1（c）中，就是 2QF 断开后，AAT 装置才可动作合上 3QF、4QF。

3．动作次数

AAT 装置应保证只动作一次。当工作母线发生永久性短路故障或引出线上发生未被其断路器断开的永久性短路故障，备用电源第一次投入后，由于故障仍然存在，继电保护装置动作将备用电源断开。以后，不允许再次投入备用电源，以免对系统造成不必要的再次冲击。

为实现这一要求，必须控制 AAT 装置的合闸脉冲，使之只能让断路器合闸一次而不能是两次。

4．动作时间

AAT 装置动作时间应使用户的停电时间尽可能短为原则。所谓 AAT 装置动作时间，即指工作母线受电侧断路器断开到备用电源投入之间的时间，也就是用户供电中断的时间。从满足用户供电可靠性方面考虑，希望动作时间越短越好。另一方面，当工作母线上装有高压大容量电动机，工作母线停电后，电动机反送电，使工作母线残压较高，若 AAT 装置动作时间太短，会产生较大的冲击电流和冲击力矩，损坏电气设备。此外，若动作时间太短，故障点电弧来不及熄灭，影响了 AAT 装置动作的成功率。所以，考虑这些情况，动作时间不能太短。运行实践证明，AAT 装置的动作时间以 1～1.5s 为宜，某些特殊情况下可稍短或较长。

5．自动闭锁

当系统侧故障时，工作电源和备用电源可能同时失去电压，此时 AAT 装置应自动闭锁。若此情况下 AAT 装置动作投入备用电源，工作母线也不可能有电。但当电力系统恢复正常时，却要进行复杂的倒闸操作，才能将工作母线由备用电源供电改为由工作电源供电，同时也可能使备用电源过负荷。

对 AAT 装置除上述基本要求以外，还要考虑 AAT 装置备用容量、备用电源过负荷、多级 AAT 的配合、电压互感器二次侧断线 AAT 的误动作等问题。

第三节　备用电源自动投入装置接线

为了满足对 AAT 装置的基本要求，AAT 装置的接线可分为起动和自动合闸两部分。

本节主要讨论 AAT 装置的起动方式和装置接线。

一、AAT 装置的起动方式

从对 AAT 装置起动条件的基本要求出发，采用不对应起动方式， AAT 装置的切换开关处于投入位置而供电元件受电侧断路器处于跳闸位置，即两者位置不对应时，起动AAT装置是最合理的。

然而，当系统侧故障使工作电源失去电压，不对应起动方式不能使 AAT 装置起动时，应考虑其他起动方式辅助不对应起动方式。在实际应用中，使用最多的辅助起动方式是采用低电压继电器来检测工作母线是否失去电压。显然，这种辅助起动方式能反映工作母线失去电压的所有情况，但这种辅助起动方式的主要问题是如何克服电压互感器二次回路断线的影响；另外，电动机的残压对此辅助起动方式也有一定的影响。

二、备用变压器自动投入接线

(一)接线

图 2-2 示出发电厂厂用备用变压器自动投入装置的原理接线图，它也适用于变电所备用变压器上。其他场合备用电源自动投入装置的接线与之相似。

图 2-2 中，T1 为工作变压器，T0 为备用变压器，T0 对工作段母线起备用作用。

1KV、2KV、1KT、KV 及 3KM 组成 AAT 装置的辅助低电压起动部分； 1KM、2KM 组成 AAT 装置的自动合闸部分。

根据图 2-2 中 AAT 装置归总式原理接线图，可画出对应的 AAT 装置展开图，如图 2-3所示。本书主要分析归总式原理接线图、展开图请读者自行分析。

表 2-1　　1SA切换开关触点通断情况

1SA 触点	①-③	⑤-⑦	⑨-⑪
AAT 投入（1SA 接通）	闭合	闭合	闭合
AAT 退出（1SA 断开）	断开	断开	断开

(二)工作原理

(1) 在正常情况下，工作母线 Ⅰ 段和备用电源母线均有电压，1KV、2KV 动断触点断开，KV 动合触头闭合，3KM 处于励磁动作状态；操作 1SA 将 Ⅰ 母线的 AAT 装置投入运行，其相应奇数对触点接通（见图 2-1）。同时 2QF 处于合闸状态，2QF 辅助触点 2-2 闭合，1KM 励磁，为 AAT 装置动作出口作好准备。

(2) 当变压器 T1 的继电保护装置（主保护或后备保护）动作时， KOM 动作使跳闸线圈 1LT、2LT 通电，令断路器 1QF、2QF 跳闸。2QF 跳闸后，2QF 辅助触点 2-2 使 1KM 立即失磁，因 1KM 动合触点延时打开，2QF 辅助触点 3-3 闭合，2KM 立即得电动作（+→1KM 延时打开的动合触点→2KM→-）。2KM 动作后，通过闭合 2KM 动合触点使 3QF、4QF 的合闸接触器 3KMC、4KMC 通电，3QF 和 4QF 合闸。合闸后，由于 1KM 延时断开的动合触点已打开，于是 2KM 失磁，3QF、4QF 的合闸接触器 3KMC、4KMC 断电，从而保证了 AAT 装置只动作一次。

(3) 当 1QF 误断开时，通过其辅助触点 2-2 使 2QF 联动跳闸，2QF 跳闸后，AAT 装

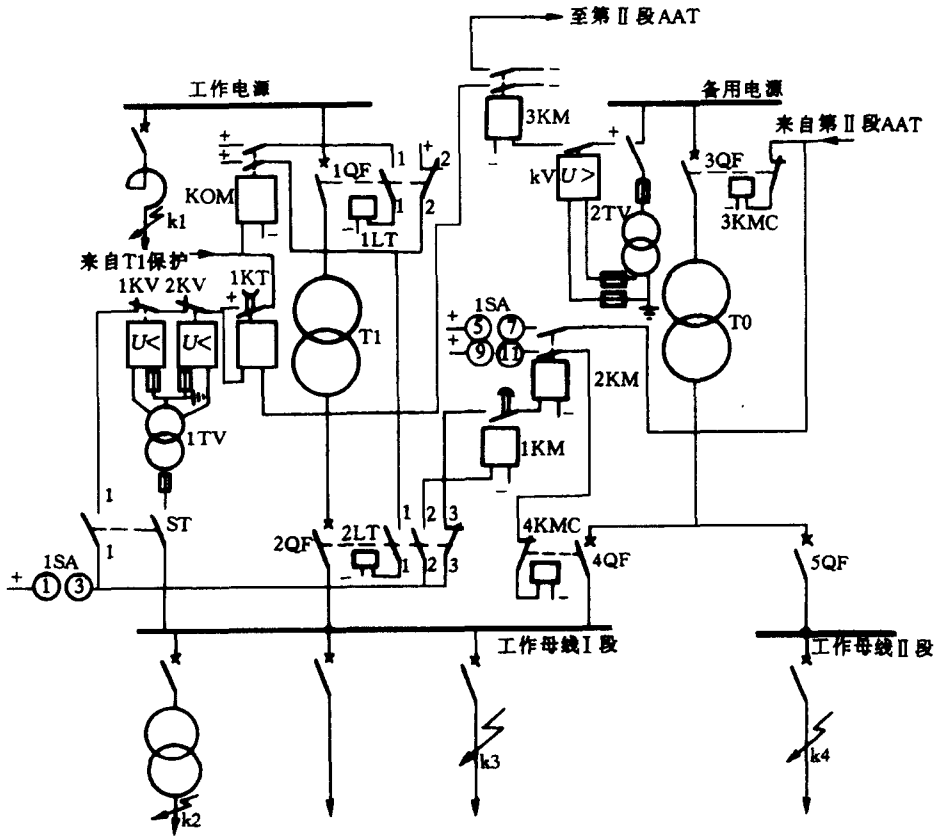


图 2-2 厂用备用变压器 AAT 装置总归式原理接线图

1KV，2KV—反应Ⅰ母线电压降低的低电压继电器； 1KT—辅助低电压起动 AAT 装置的时间继电器；1KM—控制 AAT装置是发出合闸脉冲时间的闭锁继电器； 2KM—AAT装置动作的出口中间继电器；KV—反应备用电源母线有无电压的过电压继电器； 3KM—备用电源电压监视中间继电器；1SA—AAT 装置切换开关，其触点通断情况如表 2-1所示，用于投入或退出 AAT装置；KOM—1QF、2QF出口跳闸中间继电器

置动作情况如上所述。显然 2QF误断开时也有类似的动作过程，这就说明 AAT装置能弥补断路器误动作时的供电可靠性。

(4) 当系统侧故障使Ⅰ母线失去电压时，显然 T1 的继电保护不动作。而在此情况下，Ⅰ母线失去电压，1KV、2KV动断触点闭合；若备用电源母线有电压， 3KM处于动作状态，起动时间继电器 1KT。经 1KT 预定延时时间后，KOM 通电使 1QF和 2QF跳闸，然后将备用电源投入。若备用电源母线无电压， 3KM 处于失磁状态，1KT 不动作，1QF、2QF 不跳闸，备用电源不能投入。

如果备用电源自动投入到永久性故障上时，则由设置在备用变压器 T0 的继电保护加速切除（图 2-2中 T0继电保护未示出)。

由上述分析可看出，图 2-2 所示的 AAT 装置接线是满足基本要求的。工作母线Ⅱ段

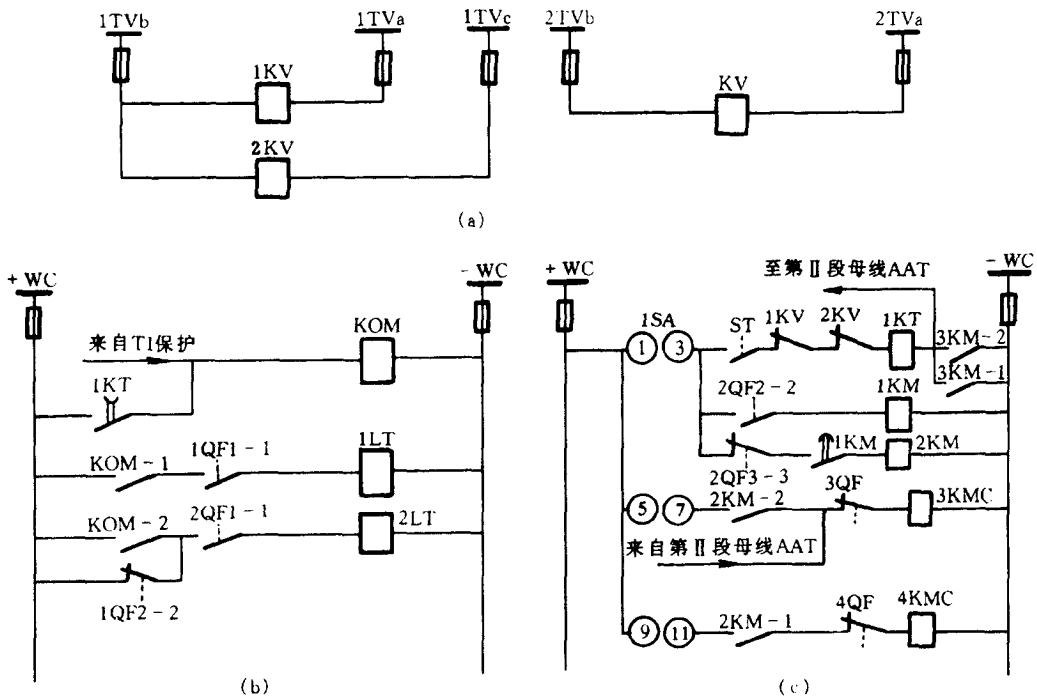


图 2-3 厂用备用变压器 AAT装置展开图

(a) 交流电压回路；(b) 1QF、2QF 跳闸控制回路；(c) 3QF、4QF合闸控制回路

的 AAT 装置接线（图 2-2 中未画出）与上类似。

（三）接线特点

（1）不对应起动。AAT装置起动方式，采用了供电元件受电侧断路器与 AAT 装置切换开关位置不对应方式起动（在图 2-2 中，1SA 处于投入 AAT 位置而 2QF 处于跳闸后位置）。此起动方式简单明了、动作可靠，并且可弥补断路器误动作时的供电可靠性。

（2）辅助低电压起动。反应系统侧故障时的起动方式，弥补不对应起动方式的不足。采用两个低压继电器 1KV、2KV 接在不同的相别上，其触点串联，可防止电压互感器二次侧断线时 AAT 装置的误动作，所以，辅助低电压起动部分动作是可靠的。

（3）一次合闸脉冲。采用 1KM继电器的延时打开动合触点控制一次合闸脉冲，电路简单、控制可靠。

（四）参数整定

1. 低电压继电器 1KV、2KV 的动作电压值

整定原则如下：

（1）接在工作母线上的电抗器或变压器后发生短路故障（如图 2-2 中，k1、k2 点）时，低电压继电器不应动作。

（2）在工作母线的引出线上发生短路故障（如图 2-2 中 k3 点）时，故障由引出线继电保护切除后，低电压继电器的动作电压应躲过电动机自起动时的最低母线电压。

考虑上述两点，一般选择 1KV、2KV 的动作电压值等于母线额定电压的 25%即可。

2. 时间继电器 1KT 的动作时限值

当系统发生使低电压继电器 1KV、2KV 动作的短路故障时，应由系统的继电保护切除故障而不应使 AAT 装置起动，所以 1KT 的动作时限值是保证 AAT 装置选择性动作的重要措施，为此 1KT 的动作时间应满足下式

$$t_{1KT} = t_{op.max} + \Delta t$$

式中 $t_{op.max}$——当网络内发生使低电压继电器动作的短路故障时，切除该短路故障的系统继电保护最大动作时间；

Δt——继电保护时间裕度，一般取 0.5s。

3. 闭锁继电器 1KM 延时返回时间值

1KM 延时返回时间值决定 AAT 装置动作次数。要保证 AAT 装置只动作一次，1KM 延时返回时间值 t_{1KM} 既应大于 3QF 或 4QF 的合闸时间 t_{on}（包括传动装置的动作时间），又要小于 3QF 或 4QF 两倍合闸时间，即

$$t_{on} < t_{1KM} < 2t_{on}$$

或

$$t_{1KM} = t_{on} + \Delta t$$

式中 Δt——时间裕度，取 0.2～0.3s。

4. 过电压继电器 KV 的动作电压值

KV 的动作电压值整定应考虑如下情况：备用电源母线带第 Ⅱ 段工作母线运行时，出线上的故障被该出线断路器切除后（如图 2-2 中 k4 点故障），由于电动机的自起动影响，备用电源母线出现最低运行电压 U_{min} 时，继电器 KV 仍应保持动作状态，以使 Ⅰ 段工作母线的 AAT 装置辅助低电压起动部分仍能起动，故继电器 KV 的动作电压 U_{op} 为

$$U_{op} = U_{min} / K_{rel} K_{re}$$

式中 K_{rel}——可靠系数，取 1.1～1.2；

K_{re}——返回系数，一般取 0.85～0.9。

一般，U_{op} 取值不应低于备用母线额定电压的 70%。

（五）接线的简化

通过对图 2-2AAT 装置原理接线图的分析可知，除系统侧故障使工作母线失去电压，AAT 装置辅助低电压起动部分动作外，其他情况下都不经辅助低电压起动部分而动作。由此考虑到，AAT 装置接线中辅助低电压起动部分能否取消的问题，如果可行，这对简化 AAT 装置接线，提高 AAT 装置动作的可靠性是有好处的。为此我们再回顾一下辅助低电压起动部分的作用。

低电压继电器 1KV、2KV 的主要作用是当系统侧的故障使工作母线失去电压时，跳开供电元件受电侧断路器而起动 AAT 装置，同时可作 Ⅰ 母线及所有出线保护的后备，当然前者是主要的。

过电压继电器 KV 的作用是防止系统侧的故障使工作母线、备用母线同时失压而造成 AAT 装置不必要的动作。若取消过电压继电器，势必造成此情况下，各段工作母线的

AAT均动作将全部负荷投到无电压的备用变压器上，一旦系统恢复正常，可能造成备用变压器过负荷，要进行复杂的倒闸操作将负荷重新投到工作变压器上。

根据低电压继电器和过电压继电器所起的作用，很显然，当工作部分和备用部分由同一电源供电时，如图 2-1（a）或（e）辅助低电压起动部分可以省去，并不影响 AAT 装置的效果。

对于其他供电情况下的 AAT装置接线，可参照图 2-2的 AAT接线原则拟制。

复 习 思 考 题

1.AAT装置的作用是什么？使用 AAT装置有哪些优点？

2.AAT 装置采用什么起动方式？此起动方式有什么优点？为什么还要有辅助起动方式？

3. 在图 2-2AAT装置原理接线图中，闭锁继电器 1KM 的作用是什么？系统正常运行时，2QF 跳闸后瞬间及 AAT装置动作以后，1KM的状态如何？

4. 若在图 2-2 中 k3 点发生相间短路而未被该出线断路器断开， AAT 装置是如何动作的？说明各继电器的动作情况。

5. 试拟定图 2-1（e）、（f）中 3QF 上的 AAT装置原理接线图。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第三章　输电线路的自动重合闸装置

本　章　要　点

1. 自动重合闸装置的作用以及对自动重合闸装置的基本要求。

2. 三相一次自动重合闸的概念。电气式三相一次自动重合闸装置的工作原理及参数整定原则。

3. 双侧电源线路三相自动重合闸要考虑的特殊问题。无压检定和同步检定的三相自动重合闸的工作原理，同步继电器的工作原理。

4. 自动重合闸前加速保护和自动重合闸后加速保护的定义、工作过程以及特点。

5. 综合重合闸的工作方式。综合重合闸需考虑的特殊问题、构成原则以及典型动作行为分析

第一节　输电线路自动重合闸装置的作用及分类

一、自动重合闸装置的作用

在电力系统中，由于电力线路容易受到周围环境的影响，发生故障的可能性最大。就其故障类型来说，单相接地故障占大多数，就其故障性质来说，大多属瞬时性故障，如雷击引起的绝缘子表面闪络、大风引起的短时碰线、通过鸟类身体的放电等，这些瞬时性故障约占总故障次数的 80％～90％以上，在线路被继电保护迅速断开以后，电弧即行熄灭，故障点的绝缘强度重新恢复，外界物体（如树枝、鸟类等）因被电弧烧掉而消失。此时，如果把断开的断路器再合上，就能够恢复正常的供电。为此在电力系统中广泛采用自动重合闸装置，简称 ARC 装置，即当断路器因故被断开后，为确定系统各种预定的条件已满足要求，并经过规定的时间向断路器发出合闸脉冲，使之重新合闸的装置。

电力线路的故障虽然多为瞬时性故障，但也有由倒杆、断线、绝缘子击穿等引起的永久性故障。装设重合闸装置以后，由于它本身并不能够判断是瞬时性故障还是永久性故障，因此，若为瞬时性故障，则重合成功，线路恢复供电；若重合于永久性故障，线路还要被继电保护再次断开，重合不成功，不能恢复正常的供电。根据运行资料的统计，输电线路 ARC 装置的动作成功率（重合闸成功的次数 / 总重合次数）一般在 60％～90％之间，可见采用 ARC 能显著提高供电的可靠性。

输电线路上采用自动重合闸装置的主要作用是：

（1）提高供电的可靠性，减少线路停电次数，对单侧电源的单回线路作用尤为显著。

（2）在高压线路上采用 ARC，可提高系统并列运行的稳定性。因而，自动重合闸技术被列为提高电力系统暂态稳定的重要措施之一。

（3）对断路器本身由于机构不良或继电保护误动作而引起的误跳闸，能起到纠正的作

用。

（4）在电网的设计与建设过程中，有些情况下由于考虑重合闸的作用，可以暂缓架设双回线路，以节约投资。

由于 ARC 装置本身的投资很低，工作可靠，因而在电力系统中得到了广泛的应用。《电力技术规范》规定对 1kV 及以上的架空线路和电缆与架空的混合线路，当具有断路器时，一般应装设自动重合闸装置。但采用 ARC 后，当重合于永久性故障时，系统将再一次受到短路电流的冲击，可能引起系统振荡。同时因断路器在短时间内连续两次切断短路电流可能造成断路器工作条件恶化，所以在短路电流较大的系统中，上述不利条件往往限制了重合闸的使用。

二、自动重合闸装置的分类

根据 ARC 的不同特征，可分为如下几类：

（1）按其功能的不同，可分为三相 ARC、单相 ARC 和综合 ARC 三种。

（2）按允许动作的次数，可分为一次 ARC、二次 ARC 和多次 ARC。

（3）按输电线路所连接的电源情况，可分为单侧电源线路 ARC 和双侧电源线路 ARC。

（4）对于双侧电源线路的三相自动重合闸，根据系统的情况，按不同的重合闸方式，可分为三相快速 ARC、非同步 ARC、无压检定和同步检定的 ARC、检查平行线路有电流的 ARC、解列 ARC 和自同步 ARC 等。

（5）按与继电保护的配合方式，可分为重合闸前加速继电保护动作的 ARC 以及重合闸后加速继电保护动作的 ARC。

第二节　对输电线路自动重合闸装置的基本要求

为充分发挥自动重合闸装置的效益，装置应满足以下几点基本要求：

（1）自动重合闸装置应动作迅速，即在满足故障点去游离（介质绝缘强度恢复）所需的时间和断路器消弧室及其传动机构准备好再次动作所需时间的条件下，ARC 动作时间应尽可能短。因为从断路器断开到 ARC 发出合闸脉冲的时间越短，用户的停电时间就可以相应缩短，从而减轻故障对用户和系统带来的不良影响。

（2）在下列情况下，重合闸不应动作：

1）由值班人员手动操作或通过遥控装置将断路器断开时。

2）手动投入断路器，若线路上有故障，而随即被继电保护断开时。因为此时，可能是由于检修质量不合格、隐患未消除或保安接地线未拆除等原因所形成的永久性故障，因此再重合一次也不可能成功。

（3）除（2）所述情况外，当断路器由继电保护动作或其他原因跳闸后，重合闸均应动作。

（4）自动重合闸应优先采用由控制开关的位置与断路器位置的不对应原则来起动，即当控制开关在合闸位置而断路器实际上在断开位置的情况下，使重合闸起动（简称不对应

起动方式）。除此之外，也可以由继电保护来起动重合闸（简称保护起动方式）。前者的优点是可以使因“误碰”跳闸的断路器迅速重合上，而保护起动方式却只能在保护动作的情况下才起动 ARC，所以不能纠正由“误碰”引起的断路器跳闸。

(5) 自动重合闸的动作次数应符合预先的规定。如一次 ARC 应该只动作一次。当重合于永久性故障断路器再次跳闸时，ARC 就不应再次重合。这是因为，当 ARC 多次重合于永久性故障时，会使系统遭受多次冲击，损坏断路器，并扩大事故。

(6) 自动重合闸应能自动闭锁。当母线差动保护或按频率自动减负荷装置动作时，以及当断路器处于不正常状态，如操作机构中使用的气压和液压降低等，而不允许实现重合闸时，应将 ARC 闭锁。

(7) 自动重合闸装置动作后，应能自动复归，准备好下一次再动作。对 10kV 及以下电压的线路，如当地有值班人员，为简化重合闸的实现，可以采用手动复归。采用手动复归的缺点是，当重合闸动作后，在值班人员未及时复归以前若又一次发生故障，则 ARC 将拒动。这种情况在雷雨季节和雷害活动较多的地方尤其可能发生。

(8) 自动重合闸应能在重合闸动作后或重合闸动作前，加速继电保护的动作。ARC 与继电保护配合，可加速故障的切除，此时应注意：在进行三相重合时，断路器三相不同时合闸会产生零序电流，故应采取措施防止零序电流保护误动。

(9) 在双侧电源线路上实现重合闸时，应考虑合闸时两侧电源间的同步问题。

第三节　单侧电源线路的三相自动重合闸

单侧电源线路是指只有一个电源供电的辐射状单回线路、平行线路和环状线路。这种线路的特点是仅有一个电源供电，不存在非同步重合的问题，重合闸装于线路的送电侧。在这种线路上一般采用三相一次自动重合闸，即不论输电线路上发生的是单相接地短路还是相间短路，继电保护均将断路器的三相同时跳开，然后重合闸装置起动，将断路器三相同时合上。若是瞬时性故障，则重合成功；若发生的是永久性故障，则保护再次进行三相跳闸，并不再重合。

一、三相一次自动重合闸接线

图 3-1 示出了电气式三相一次自动重合闸的接线，先将有关元件说明如下。

KT 是用来控制重合闸动作时间的时间继电器；KM 是靠电压线圈起动，电流线圈自保持的中间继电器；C 是用来获得重合闸脉冲的电容器。

KTP 是断路器跳闸位置继电器，当断路器处于跳闸状态时，由于其动断辅助触点 QF1 接通，KTP 动作。因 KTP 线圈的阻抗足够大，合闸接触器 KMC 经 KTP 线圈通电，却不会动作。

KTL 是断路器的跳跃闭锁继电器，简称防跳继电器。

KAT 是重合闸后加速保护动作的继电器，简称后加速继电器，它具有瞬时动作、延时返回的特点

SA 是手动操作的控制开关，其触点的通断状况如表 3-1 所示，×表示通，－表示断。

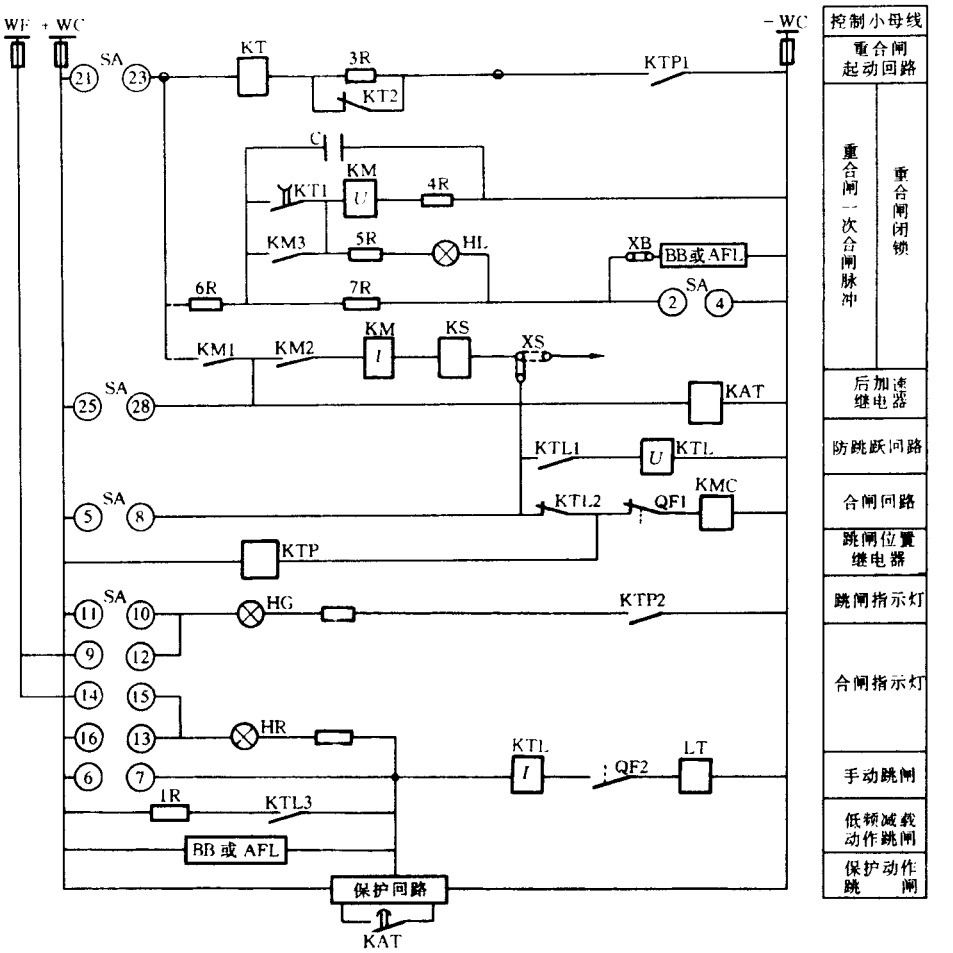


图 3-1　电气式三相一次自动重合闸接线

表 3-1　　SA 触点通断状况

操作状态		手动合闸	合闸后	手动跳闸	跳闸后
SA 触点号	②-④	—	—	—	×
	⑤-⑧	×	—	—	—
	⑥-⑦	—	—	×	—
	㉑-㉓	×	×	—	—
	㉕-㉘	×	—	—	—

1. 线路正常运行时

控制开关 SA 处在合闸后位置，与断路器处于对应的合闸状态。 SA 的触点㉑-㉓通，②.④断开，断路器的动断辅助触点 QF1 断开，动合辅助触点 QF2 闭合，跳闸位置继电器 KTP 线圈失电，KTP1 断开。电容 C 经电阻 6R 充满电，其两端电压等于直流电源电压，重合闸处于准备动作状态。用来监视中间继电器 KM 电压线圈是否完好以及电容 C 是否

充满电的信号灯 HL亮。

2. 线路发生瞬时性故障或由于其他原因使断路器误跳闸时

当发生瞬时性故障时，保护动作，跳闸电流流过防跳继电器 KTL 的电流线圈和断路器的跳闸线圈 LT，使断路器 QF 跳闸。

断路器跳闸后，QF2 断开，QF1 闭合，控制开关 SA 和断路器的位置处于不对应状态。此时因断路器辅助触点 QF1 闭合，使跳闸位置继电器 KTP 经 QF1 和 KMC 励磁。KTP 动作后，KTP1 闭合，从而起动时间继电器 KT，经整定时限后，其延时动合触点 KT1 闭合，接通电容 C 对 KM 电压线圈的放电回路，从而使 KM 动作，其动合触点 KM1、KM2 接通合闸接触器回路（+WC→SA㉑-㉓→KM1→KM2→KM 电流线圈→信号继电器 KS 线圈→切换片 XS→KTL2→QF1→KMC 线圈→-WC），合闸接触器 KMC 动作，使断路器合闸。重合闸动作时，因 KT1 触点和 KM3 触点闭合，信号灯 HL 上失去电压，灯光熄灭。

KM 电流线圈起自保持作用，只要 KM 被电压线圈短时起动一下，便可通过电流自保持线圈使 KM 在合闸过程中一直处于动作状态，以保证断路器可靠合闸。

断路器重合后，其辅助触点 QF1 断开，KM 因其电流线圈失去电流而返回。跳闸位置继电器 KTP 也随 QF1 断开而返回，KTP1 断开，使 KT 返回，KT1 断开，电容 C 开始重新充电，经 15～25s 后电容 C 充满电，准备好下次再动作。

当断路器由于某种原因误跳闸时，重合闸的动作情况与上述过程相同。

3. 线路上发生永久性故障时

重合闸装置的动作过程与 2 所述相同。由于是永久性故障，保护将再次动作使断路器第二次跳闸，ARC 再次起动。KT1 再次闭合后，电容 C 向 KM 电压线圈放电。由于电容 C 充电时间短，电压低，不能使 KM 动作，因而断路器无法再次重合，保证了断路器只重合一次。因 QF 不再重合，KT1 触点一直闭合，电容 C 上的电压最终为 $\frac{R_{KM}+R_{4R}}{R_{6R}+R_{KM}+R_{4R}}\times U_D$（$U_D$ 为直流电源电压）。由于 R_{6R} 远远大于 $R_{KM}+R_{4R}$，所以电容 C 上的电压值远小于 KM 的动作电压值，从而保证了 ARC 只动作一次。

4. 用控制开关手动操作跳闸时

SA㉑-㉓断开，ARC 装置不可能起动。跳闸后，SA②-④接通了电容 C 对电阻 7R 的放电回路。由于 R_{7R} 只有几百欧，所以放电后，电容 C 上的电压接近于零，保证下次手动合闸于故障线路时，ARC 不会动作。

5. 用控制开关手动合闸于故障线路时

当用 SA 手动操作合闸时，SA⑤-⑧通，KMC 起动合闸，SA㉑-㉓接通，SA②-④断开，电容 C 开始充电。同时 SA㉕-㉘接通，使后加速继电器 KAT 动作。若线路在合闸前已存在故障，则当手动合上断路器后，保护立即动作，经 KAT 的延时断开动合触点使断路器加速跳闸。这时，因电容 C 充电时间短，电压很低，C 放电不足以起动 KM，从而保证 ARC 装置可靠不动作。

6. 闭锁重合闸装置时

在某些情况下，断路器跳闸后不允许自动重合闸。例如，按频率自动减负荷装置（AFL）或母线差动保护（BB）动作时，应将 ARC 装置闭锁，使之退出工作。实现的方法是利用 AFL 或 BB 的出口辅助触点与 SA②-④并联。当 AFL 或 BB 动作时，其辅助触点闭合，电容 C 经电阻 7R 放电，使 ARC 无法动作，以达到闭锁 ARC 的目的。

7. 防止断路器多次重合于永久性故障的措施

如果线路发生永久性故障，且重合闸第一次重合就出现了 KM1、KM2 触点粘牢或卡住现象。因为是永久性故障，保护将再次动作跳闸，由于 KM1、KM2 触点接通，若无防跳继电器 KTL，则合闸接触器 KMC 通电而使断路器第二次重合。如此反复，断路器将发生多次重合的严重后果，形成“跳跃现象”，这是不允许的。为此装设了防跳继电器 KTL。当断路器第二次跳闸时，KTL 电流线圈通电而使 KTL 动作，于是 KTL 的电压线圈经卡住了的 KM1、KM2 触点和本身的动合触点 KTL1 自保持，使断路器跳闸后 KTL 不返回，从而借助其动断触点 KTL2 的打开，切断重合闸的合闸回路，使断路器不会多次重合。

同样，当手动合闸于永久性故障时，如果合闸脉冲过长 SA⑤-⑧闭合较长一段时间，在保护动作使断路器跳闸后，KTL 起动，并经 SA⑤-⑧及 KTL1 接通其电压自保持回路，使 SA⑤-⑧断开之前 KTL 不能返回，并借助 KTL2 切断合闸回路，使断路器不能重合。

二、参数整定

1. 重合闸动作时限值的整定

重合闸的动作时限即图 3-1 中时间继电器 KT 的整定时限。为了尽可能缩短停电时间，重合闸的动作时限原则上应越短越好。但考虑到如下两方面的原因，重合闸的动作又必须带一定的时限。

（1）断路器跳闸后，故障点的电弧熄灭以及周围介质绝缘强度的恢复需要一定的时间，必须在这个时间以后进行重合才有可能成功。

（2）重合闸动作时，继电保护一定要返回，同时断路器操作机构恢复原状，准备好再次动作也需要一定的时间。重合闸必须在这个时间以后才能向断路器发出合闸脉冲。

因此，对于单电源辐射状单回线路，重合闸动作时限 t_{op}^{ARC} 为

$$t_{op}^{ARC} = t_{dis} - t_{on} + \Delta t \tag{3-1}$$

式中 t_{dis}——故障点的去游离时间；

t_{on}——断路器的合闸时间；

Δt——时间裕度，取 0.3～0.4s。

运行经验表明，单侧电源线路的三相重合闸动作时间取 0.8～1s 较为合适。

2. 重合闸复归时间的整定

重合闸复归时间就是电容 C 上电压从零值充电到能使中间继电器 KM 动作所需的时间。复归时间的整定需考虑以下两个方面：

（1）保证当重合到永久性故障，由最长时限段的保护切除故障时，断路器不会再次重合。考虑到最严重情况下，断路器辅助触点可能先于主触头切换，提前的时间为断路器的合闸时间。于是，重合闸的复归时间 t_{re}^{ARC} 为

需要全本请访问 www.ertongbook.com