“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材·电气自动化类

浙江省“十一五”重点教材建设项目

电力系统自动装置

（第2版）

王 伟 主编



- 结合当代先进电力技术
- 培养应用型人才为目标
- 提高实际工程应用能力

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定
21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材
浙江省“十一五”重点教材建设项目

电力系统自动装置(第2版)

主　编　王　伟
副主编　金永琪　沈胜松
参　编　李泳泉　周士康

学院图书馆
藏书专用章

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高等职业教育电力技术类专业的教学要求编写而成的，以培养电气工程第一线的高技术应用型人才为主要目标。本书在编写上采用“任务驱动法”的编写思路，将整个课程按照当前电力系统实际情况分解成六大主要任务：提高电力系统故障情况下的可靠性、提高输电线路运行的可靠性、向发电厂提供稳定的厂用电、实现同步发电机自动并列、为发电机转子提供稳定的直流电、提高电力设备运行的动态稳定性。通过具体任务将课程理论体系和实践体系贯穿在一起，在内容体系上重点突出数字式自动装置的总体结构、工作原理、性能及其运行特点等，充分结合当代先进电力技术在自动装置中的应用。全书始终贯彻分析问题和解决问题能力的培养，突出读图能力的培养，着力于提高读者的实际工程应用能力，为今后从事电力系统自动化及自动装置的调试、管理、开发和研究等工作打下必要的基础。

本书适合作为电力技术类专业的教学用书，也可作为电气工程类专业教师、学生和电气工程从业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统自动装置/王伟主编. —2 版. —北京：北京大学出版社，2014.8

(21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-24455-5

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①王… Ⅲ. ①电力系统—自动装置—高等职业教育—教材 Ⅳ. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 144602 号

书　　名：电力系统自动装置(第 2 版)

著作责任者：王　伟　主编

策 划 编 辑：邢　琛

责 任 编 辑：邢　琛

标 准 书 号：ISBN 978-7-301-24455-5/TM · 0062

出 版 发 行：北京大学出版社

地　　址：北京市海淀区成府路 205 号　100871

网　　址：http://www.pup.cn　新浪官方微博：@北京大学出版社

电 子 信 箱：pup_6@163.com

电　　话：邮购部 62752015　发行部 62750672　编辑部 62750667　出版部 62754962

印 刷 者：北京富生印刷厂

经 销 者：新华书店

787 毫米×1092 毫米　16 开本　12.25 印张　279 千字

2011 年 8 月第 1 版

2014 年 8 月第 2 版　2014 年 8 月第 1 次印刷

定　　价：26.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024　电子信箱：fd@pup. pku. edu. cn

目　录

概述 1

0.1 电力系统自动装置的内涵及外延 1
0.2 电力系统自动装置的发展历程及趋势 2
0.3 本书的编写思路及主要内容 3

任务 1　提高电力系统故障情况下的可靠性 4

1.1 任务导入：认识备用电源自动投入装置 5
1.2 任务分析：选择合适的备用电源自动投入装置 8
1.3 任务解决方案 11
1.4 任务解决方案的评估 19
1.5 AAT 项目实训：配置实用的 AAT 装置 20
任务小结 20
习题 21

任务 2　提高输电线路运行的可靠性 22

2.1 任务导入：认识自动重合闸装置 23
2.2 任务分析：选择合适的自动重合闸装置 26
2.3 任务解决方案 38
2.4 任务解决方案的评估 42
任务小结 43
习题 44

任务 3　向发电厂提供稳定的厂用电 45

3.1 任务导入：认识直流系统 46
3.2 任务分析：选择合适的直流系统 48
3.3 任务的解决方案 59
3.4 任务解决方案的评估 66
任务小结 68
习题 68

任务 4　实现同步发电机自动并列 69

4.1 任务导入：认识发电机同期装置 70
4.2 任务分析：选择合适的同期系统 73
4.3 任务的解决方案 81

4.4 任务解决方案的评估 92
4.5 综合实训：发电机自动准同期装置调试实训 93
任务小结 99
习题 101
任务5 为发电机转子提供可控的直流电 102
5.1 任务导入：认识发电机励磁系统 103
5.2 任务分析：选择合适的励磁系统 111
5.3 任务的解决方案 131
5.4 任务解决方案的评估 141
5.5 同步发电机励磁控制实训 144
任务小结 150
习题 151
任务6 提高电力设备运行的动态稳定性 152
6.1 任务导入：认识在线监测系统 153
6.2 任务分析：认识变压器在线监测系统 158
6.3 任务的解决方案 166
6.4 任务解决方案的评估 180
任务小结 180
习题 181
附录 本书相关符号(简写)说明 182
参考文献 184

概　述

0.1　电力系统自动装置的内涵及外延

1. 电力系统自动装置的内涵

电力系统自动装置是研究通过自动化元件控制电力系统内电气设备的一门应用技术，是电力系统自动控制实用领域之一。

根据上述定义，电力系统自动装置主要应用于电力系统内电气设备运行的控制与操作，是直接为电力系统安全、经济运行和保证电能质量的基础自动化设备。特别需要指出的是，上述定义中自动化元件是一个宽泛的概念，不仅包括单纯的电气元件(如继电器、按钮、转换开关等)，而且包括单片机、可编程序控制器和工控机等微机，在此我们主要将各种微机作为一种控制手段，而且微机往往作为整个自动化系统的核心元件。

2. 电力系统自动装置的外延

电力系统自动控制是实现电力系统自动化的技术基础，而电力系统自动装置作为电力系统自动控制实用领域之一。电力系统自动控制根据控制任务和内容，大致可划分为 4 个不同任务的控制系统，包括电力系统自动监控、电力系统自动装置、发电厂动力机械自动控制和电力安全装置，对于不同控制系统的外延要根据控制任务进行明确的界定。

(1) 电力系统自动监控。电力系统自动监控，其主要任务通过计算机及网络系统提高整个电力系统的安全、经济运行水平。实际运行中电力系统中各发电厂、变电所把反映电力系统运行状态的实时信息，通过各种远动终端装置送至调度控制中心的计算机系统，由计算机系统及时地对运行信息进行分析诊断，供运行人员监控决策参考，因此电力系统自动监控面对整个电力系统，进行系统内各种状态信息流的监测。

(2) 电力系统自动装置。根据电力系统自动装置的定义，电力系统自动装置主要应用于电力系统内电气设备的控制，包括发电厂及变电所内发电机、变压器、直流系统等电气部件。实用中电力系统自动装置主要突出电气设备的自动操作和故障对策，是直接面向电力系统安全、经济和保证电能质量服务的控制系统。总之，电力系统自动装置的控制对象是电力系统中所有电气设备。

(3) 发电厂动力机械自动控制。无论是水电厂、火电厂还是核电厂，厂内都有大量的动力机械设备，如火电厂中锅炉和汽轮机、水电厂中的水轮机及调速器等，它们在发电厂中都承担了关键的功能，因此发电厂动力机械的自动控制是发电厂自动控制的主要组成部分。同时，发电厂的动力机械随发电厂类型不同而有很大差别，各种动力设备的控制要求和控制规律相差很大，如火电厂中锅炉和汽轮机的自动控制系统与水电厂中水力机械的自动控制系统相差很大，因此需要不同专业对发电厂动力机械自动控制进行专门研究。总之，发电厂动力机械自动控制面对的是电力系统中各种机械设备。

(4) 电力安全装置。电力系统提供的电能具有高电压和大电流的基本特点，由于电力操作是一项具有高危险性的工作，因此安全是电力系统的永恒主题，而安全装置是保障电力系统运行人员人身安全的监护装置。因此，电力安全装置主要面向操作人员的安全保障研究。

0.2 电力系统自动装置的发展历程及趋势

1. 电力系统的发展历程及其运行特征

我国电力系统经过60多年的建设，无论在生产运行、设计、安装和制造方面都取得举世瞩目的成就，电力工业作为先行工业为国民经济的巨大发展提供了坚实的能源保障。解放前，全国范围内发电设备容量只有185万kW；到2000年，我国装机容量已达到2.5亿kW；至2010年底，我国装机容量达到了9.62亿kW；据国家能源局最新预测，2013年底我国发电总装机容量将达到12.35亿千瓦。发电厂将其它形式的能量转换成电能，按一次能源的不同又分为火电厂、水电厂、核电厂、风电厂和光阳能发电厂等不同类型的发电厂。尽管各类发电厂的生产流程各不相同，控制规律各有特点，但安全可靠地提供高质量的电能是各类发电厂共同的核心任务。

电力系统的产品——电能具有非常显著的特点，它无法进行大规模的储存，因此由发电厂、变电所、输电网、配电和用电等设备所组成的电力系统，必须始终遵循电能在生产、传输和分配过程中功率平衡的原则，在实际运行中始终要做到电能的发、变、配、用同时进行，整个电力系统要做到控制一体化和实时化。

2. 电力系统自动装置的发展历程及趋势

为了确保电力系统的安全经济运行，及时处理电力系统运行中所发生的各种故障，同时现代社会对电能供应的“安全、可靠、经济、优质”等各项指标的要求越来越高,客观上对电力系统自动控制提出了更高的要求，同时推动电力系统自动化技术不断地由低到高、由局部到整体发展。在电力系统大发展和自动化技术不断提升的背景下，电力系统自动装置不断更新换代，发电厂和变电所中应用的自动装置自动化水平不断提高，采用的自动化元件经历了继电器、数字电路和微机等阶段，目前已将以微机为控制核心的数字式自动装置作为主流产品，而且不断引入先进的控制理论，同时电力系统自动装置与通信技术和网络技术充分结合，实现了对电力系统的远程监控和调度，显著提升了电力系统的安全运行水平。今后，电力系统自动装置将向最优化、协调化、智能化方向发展，在打造“智能坚强”电网中发挥关键功能，在今后的“物联网”中也将起重要作用。

0.3　本书的编写思路及主要内容

本书在编写上采用了“任务驱动法”的编写思路，将整个课程按照电力系统实际情况分解成六大主要任务，这六大主要任务涵盖了电力系统中从电力网到发电厂的关键自动装置，是一个有机的整体。通过具体任务将课程理论体系和实践体系贯穿在一起。每个主要任务都结合课程要求分解成任务导入、任务分析、任务解决方案和任务解决方案的评估四部分，层层推进，让读者在解决任务中学习专业技能，充分增强读者的学习兴趣和主动性。

同时，本书内容充分结合当代先进电力技术在自动装置中的应用，鉴于数字式自动装置在电力系统中的广泛应用，本书重点介绍了数字化技术在电力领域的应用原理以及典型数字式自动装置的结构和特点。同时，本书引入了电力设备在线监测、故障诊断等内容，使教学内容更加贴近电力技术前沿科学，体现教学内容先进性，而且突出读图能力的培养，将读图能力的培养贯穿整本教材的始终，提高读者的实际工程应用能力。

根据教学大纲要求和“任务驱动法”的编写思路，本书分六大主要任务讲授，其中任务 4 和任务 5 为本课程的关键任务，具体内容如下：

(1) 任务 1 主要介绍了备用电源和备用电源自动投入装置的相关概念、特点和对备用电源自动投入装置的基本要求；详细讲述了备用电源自动投入装置 AAT 的基本组成、典型接线及原理分析。

(2) 任务 2 主要介绍了如何利用自动重合闸装置来提高输电线路运行的可靠性，进而提高整个电力系统的安全运行水平。

(3) 任务 3 主要介绍了如何为发电厂提供稳定的电源，提出了一种采用智能高频开关直流电源的解决方案。

(4) 任务 4 主要介绍了发电机组同期并列的基本概念和常用的自动并列装置的构成、原理及运行调试。

(5) 任务 5 主要介绍了发电机励磁系统如何向发电机的转子绕组提供一个可控的直流电流，以充分提高发电机的安全运行水平。

(6) 任务 6 主要介绍了目前电力系统中正在迅速发展的一门新兴技术——在线监测技术，主要分析了如何通过在线监测技术提高电力设备运行的动态稳定性。

任务1

提高电力系统故障情况下的可靠性

【知识目标】

1. 掌握备用电源自动投入装置的概念；
2. 掌握明备用、暗备用的概念和特点，能够熟练识别各种备用方式；
3. 熟练掌握对备用电源自动投入装置的基本要求和用途；
4. 掌握模拟式备用电源自动投入装置的总体结构和工作原理；
5. 能够结合继电保护、发电厂二次接线等知识，正确分析数字式备用电源自动投入装置的总体结构和工作原理。

【能力目标】

能力目标	知识要点	权重/%	自测分数
认知备用电源自动投入装置	备用电源自动投入装置的概念、基本要求和用途	10	
能熟练地对备用电源自动投入装置进行分类和识别	明备用、暗备用的概念和特点	20	
备用电源自动投入装置的分析，能够读懂备用电源自动投入装置系统图	模拟式备用电源自动投入装置的总体结构和工作原理	30	
备用电源自动投入装置的参数整定计算	各种继电器的动作参数整定方法	10	
数字式备用电源自动投入装置的分析	数字式备用电源自动投入装置的总体结构和工作原理	30	

【任务导读】

2006 年的某日，北京建外 SOHO 突然停电，11 栋大楼里共有 13 名市民被困电梯中，部分商户“秉烛”营业，SOHO 地下室一片漆黑。此次停电共影响到朝阳区建外 SOHO、九龙花园、石韵浩庭小区共 1 900 户居民的正常用电。经调查，此次停电原因为电力系统突发故障，电力公司派出抢修人员、营销服务人员以及发电车赶往现场应急处置，优先为居民楼的电梯、水泵等接上电源，陆续为居民提供了电力供应。

上面提到的是一个简单的例子，在实际生产生活中，电力系统的故障千变万化，提高电力系统故障情况下可靠性的措施也多种多样。本任务主要通过增设备用电源并采用备用电源自动投入装置的方法来提高电力系统故障情况下的可靠性。

1.1　任务导入：认识备用电源自动投入装置

电力不仅是国民经济的“先行官”，同时也涉及人们日常生活的方方面面。电力系统一旦发生故障，既会使工农业生产造成重大损失，也会给人们的日常生活带来极大的不便。如何提高电力系统故障情况下的供电可靠性，是每个电力工作者都必须考虑，同时又要认真对待的问题。

1.1.1　电源的备用方式

电源的备用方式有两种：明备用和暗备用。

1. 明备用方式

(1) 明备用的概念。

明备用是指具有明确备用电源的备用方式，正常情况下备用电源不投入运行，只有当工作电源消失后，备用电源才投入运行。

明备用方式的特点就是具有明显的备用电源。

(2) 明备用方式的典型一次接线。

图 1.1 所示为中小型发电厂普遍采用的厂用电一次接线图。

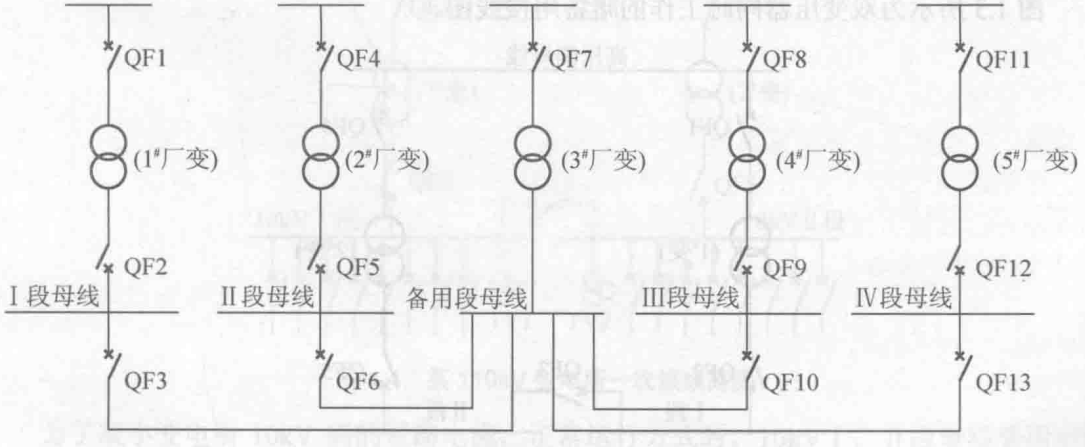


图 1.1　中小型发电厂厂用电一次接线

图1.1所示的厂用电运行方式如下：

通常情况下，1#、2#、4#、5#四台厂用变压器(简称厂变)投入运行，各自对应的高、低压侧断路器处于合闸状态；3#号厂用变压器充当备用电源(简称备变)，其高压侧断路器QF7处于分闸状态；Ⅰ～Ⅳ段母线的备用电源进线开关QF3、QF6、QF10和QF13处于分闸状态。当某段母线因非正常停电操作而失去电源时，该段母线对应的厂变高、低压侧断路器自动跳闸，3#备变高压侧断路器QF7和该段母线的备用电源进线开关自动合闸。该段母线改由3#备变供电。

当某台厂变需要停电检修时，通过运行人员的操作，对应的母线改由3#备变供电。同时3#备变仍可作为其他母线的备用电源。

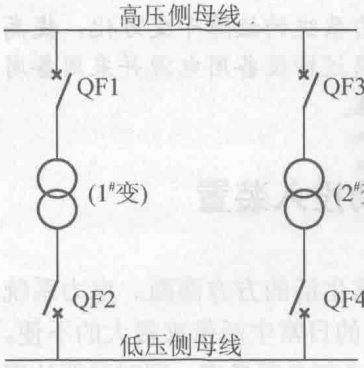


图1.2 双变压器一用一备接线

图1.2所示为双变压器一用一备接线图。

图1.2中的两台变压器通常情况下采用一用一备的运行方式。现假设将1#变压器作为工作电源，则其高、低压侧断路器QF1、QF2处于合闸状态；2#变压器作为备用电源，其高、低压侧断路器QF3、QF4处于分闸状态。

当1#变压器由于故障而使QF1和QF2跳闸，导致低压侧母线失去电源时，1#变压器高、低压侧断路器1QF、2QF自动跳闸，2#变压器高、低压侧断路器QF3、QF4自动合闸，低压侧母线改由2#变压器供电。

很明显，图1.1和图1.2两种接线方式都有明确的备用电源，因此属于明备用方式，明备用方式中备用电源可靠性较高，对备用电源的容量要求较低(只需与工作电源相同)，缺点是备用电源利用率较低。

2. 暗备用方式

(1) 暗备用的概念。

暗备用是指没有明确备用电源的备用方式，两个电源各自带负荷运行，当其中一个电源所带的负荷因非正常原因失电时，另一个电源通过中间环节(通常为母线联络断路器)向失去电源的负荷供电。

暗备用没有明显的备用电源，通常指两个工作电源互为备用。

(2) 暗备用方式的典型一次接线。

图1.3所示为双变压器同时工作的暗备用接线图。

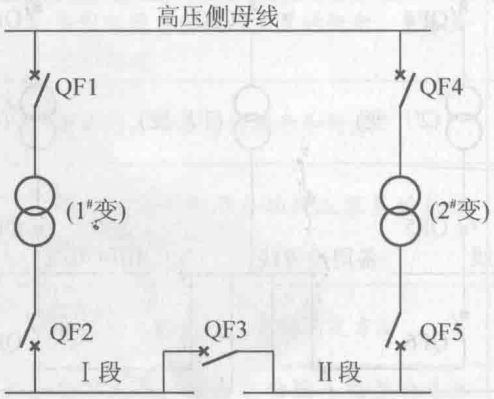


图1.3 双变压器同时工作接线

正常情况下，图中的两台变压器均作为工作电源单独运行，其高、低压侧断路器 QF1、QF2、QF4、QF5 均处于合闸状态；连接低压侧Ⅰ、Ⅱ段母线的母线联络断路器(简称母联断路器)QF3 处于分闸状态。1#、2#变压器分别为Ⅰ、Ⅱ段母线供电。

当 1#变压器回路发生故障时，变压器继电保护动作使 1#变压器高、低压侧断路器 QF1、QF2 自动跳闸，低压侧Ⅰ段母线将失去电源，则母联断路器 QF3 自动合闸，此时低压侧Ⅰ、Ⅱ段母线均由 2#变压器供电；当 2#变压器回路发生故障时，变压器继电保护动作使 2#变压器高、低压侧断路器 QF4、QF5 自动跳闸，低压侧Ⅱ段母线将失去电源，则母联断路器 QF3 自动合闸，此时低压侧Ⅰ、Ⅱ段母线均由 1#变压器供电。

1.1.2　备用电源的投入方式

备用电源的投入方式有两种：手动投入和自动投入。

1. 手动投入

若负荷对供电的连续性要求不高，允许较长时间断电，为了节省投资和简化二次回路接线，往往采用手动投入方式。当某工作电源因非正常停电操作失去电源时，备用电源的投入由电气运行人员人工操作完成。

备用电源采用人工投入方式时，负荷失电时间较长，通常为几分钟到几十分钟(视人员的操作水平和一次回路的操作复杂程度而异)。

2. 自动投入

若负荷对供电的连续性要求较高，不允许较长时间断电，这种情况下，就应该设置专门的备用电源自动投入装置(以下简称 AAT 装置)。当某工作电源因非正常停电操作失去电源时，备用电源的投入由 AAT 装置自动完成。

备用电源采用 AAT 装置自动投入方式时，负荷失电时间较短，通常只有一两秒。

图 1.4 所示为某 110kV 变电所一次接线简图。

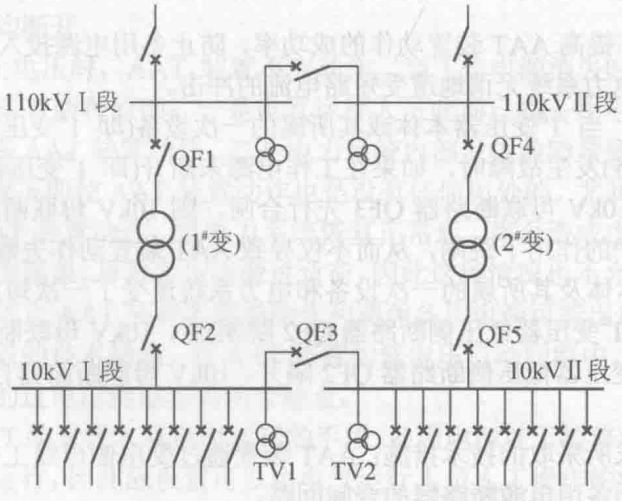


图 1.4　某 110kV 变电所一次接线简图

为了减小变电所 10kV 侧的短路电流，正常运行方式时，10kV Ⅰ、Ⅱ段母线采用分段运行方式。10kV 母联断路器 QF3 处于“分闸”状态。

为了提高对 10kV 用户供电的可靠性，1#、2#变压器除分别为 10kV Ⅰ、Ⅱ段母线供电外，还同时分别作为另一段 10kV 母线的备用电源，且要求在技术条件允许的前提下，备用电源投入的时间尽可能短，因此，备用电源的投入应该采用备用电源自动投入装置，即 AAT 装置来实现。很明显，这种备用方式属于暗备用方式。

任务 1 的主要工作是：为该变电所选择一套合适的 AAT 装置。

1.2 任务分析：选择合适的备用电源自动投入装置

选择一套合适的 AAT 装置，首先应根据相关的电气基本知识(如防止电气设备和电力系统多次遭受短路电流的冲击等)和用户的要求等内容对装置的基本要求进行分析，其次考虑装置的基本组成，最后进行电路图设计。

AAT 装置的任务是：时刻监视工作电源的电压，当其电压消失或低于一定值时，自动将工作电源断开，随即将备用电源投入运行。

1.2.1 对备用电源自动投入装置的基本要求

根据备用电源备用方式的不同和所使用场合的差异，AAT 装置的接线会有所不同，但无论采用何种接线方式，都必须满足一定的基本要求。

对备用电源自动投入装置的基本要求如下：

(1) 除正常停电操作外的其他任何原因使工作电源消失后，AAT 装置都应能动作而将备用电源自动投入。

此要求的目的：尽可能地提高对用户供电的可靠性和连续性。

为了满足此要求所采取的技术措施：通常采用设置反映工作母线失去电源的低电压启动回路来启动 AAT 装置。

(2) AAT 装置应确保在工作电源断开以后，备用电源方能投入，即工作电源先切，备用电源后投。

此要求的目的：提高 AAT 装置动作的成功率，防止备用电源投入到故障元件上，使相应的电气设备直至电力系统无谓地遭受短路电流的冲击。

例如图 1.4 中，当 1#变压器本体或其所属的一次设备(即 1#变压器高、低压侧断路器 QF1、QF2 之间回路)发生故障时，如果在工作电源未断开(即 1#变压器低压侧断路器 QF2 未跳闸)的情况下，10kV 母联断路器 QF3 先行合闸，则 10kV 母联断路器因合于故障回路而在其自身继电保护的作用下跳闸，从而不仅导致 AAT 装置动作失败，而且使 10kV 母联断路器、2#变压器本体及其所属的一次设备和电力系统遭受了一次短路电流的冲击；如果在工作电源断开(即 1#变压器低压侧断路器 QF2 跳闸)后，10kV 母联断路器 QF3 再行合闸，则故障点已经被 1#变压器低压侧断路器 QF2 隔开，10kV 母联断路器自动合闸后不会跳闸，AAT 装置动作成功。

为了满足此要求所采取的技术措施：AAT 装置通过受电侧母线工作电源进线断路器的动断辅助触点来启动备用电源断路器的合闸回路。

例如图 1.4 所示的一次接线方式中，AAT 装置可通过采用 1#(2#)变压器低压侧断路器的动断辅助触点来启动 10kV 母联断路器的合闸回路，从而达到工作电源先切除，备用电源后投入的要求。

(3) 确保 AAT 装置只动作一次。此要求的目的：防止备用电源所属电气设备和电力系统多次遭受短路电流的冲击。

例如图 1.4 中，当 10kV Ⅰ段母线发生永久性故障，或者由该段母线供电的某条出线发生永久性故障而其断路器因故拒绝跳闸时，AAT 装置动作使 10kV 母联断路器自动合闸。由于 10kV 母联断路器合闸于故障回路，因而会在其自身继电保护的作用下跳闸。如果不采取一定的防范措施，在 AAT 装置和自身继电保护的共同作用下，10kV 母联断路器反复地合闸、跳闸，从而使 10kV 母联断路器、2#变压器本体及其所属的一次设备和电力系统遭受多次短路电流的冲击，可能导致事故扩大。为此，必须确保 AAT 装置只能动作一次。

满足此要求所采取的技术措施：AAT 装置发出的合闸脉冲采用短脉冲。备用电源的断路器合闸一次后，合闸脉冲即消失。针对数字式 AAT 主要通过逻辑判断来实现只动作一次的技术要求。(详见 1.3.2 节)

特别提示

若用于使备用电源投入的断路器控制回路本身具有“跳跃闭锁”功能时，则在一个合闸脉冲期间内，不论合闸脉冲有多长，断路器只会合闸一次。在这种情况下，为了简化接线AAT装置可不考虑确保只动作一次的措施。

(4) 当工作母线电压互感器因发生回路断线等原因，从而导致虚假的失去电源情况时，AAT 装置不应动作。

此要求的目的：防止 AAT 装置发生不必要的动作。

在这种情况下，工作电源并未消失，AAT 装置没有必要动作。

满足此要求所采取的技术措施：在 AAT 装置的低电压启动回路中采用两个反映工作电源不同线电压的低电压继电器的动断触点串联接线方式。

(5) 正常停电操作时，AAT 装置不应动作。此要求的目的：确保停电操作的正常进行。满足此要求所采取的技术措施：在 AAT 装置的自动合闸回路中串联接入对应工作电源断路器的控制开关的一对触点，该对触点只有在控制开关处于“合闸后”位置时才接通，控制开关处于其他位置时均断开。

(6) 当备用电源无电压时，AAT 装置不应动作。当工作电源消失时，备用电源也无电压。发生这种现象通常有两种原因：一是电气运行人员此前已将备用电源退出“备用”状态，这种情况下不允许 AAT 装置动作；二是电力系统内部发生故障导致工作电源和备用电源同时消失，这种情况下即使 AAT 装置动作也是没有任何用处的。尤其是当备用电源采用暗备用方式时，若 AAT 装置动作，当电力系统恢复正常后，将会造成由备用电源同时担负两段母线负荷的供电的现象，导致备用电源过负荷，因此这种情况也不允许 AAT 装置动作。

此要求的目的：防止 AAT 装置无谓的动作和避免备用电源可能出现不应该的过负荷。

满足此要求所采取的技术措施：在 AAT 装置的低电压启动回路中，串联接入一个反映备用电源某一线电压的过电压继电器的动合触点。

(7) 应具有将 AAT 装置投入或退出运行的手段。备用电源处于检修状态等一些情况时，备用电源不允许投入运行，因此应设置可以由电气运行人员人工操作的将 AAT 装置投入或退出运行的措施。此要求的目的：便于电气运行人员根据具体情况改变 AAT 装置的状态。满足此要求所采取的技术措施：设置切换开关或连接片。

(8) 应具备反映工作母线电压互感器回路断线和 AAT 装置动作的信号。此要求的目的：

第一时间告知电气运行人员相关信息，便于电气运行人员及时做出相应的处理。满足此要求所采取的技术措施：设置“电压互感器回路断线”信号和“AAT装置动作”信号。

1.2.2 备用电源自动投入装置的组成

根据备用电源自动投入装置的任务和对其的上述基本要求，通常AAT装置由下面两部分组成。

1. 低电压启动部分

监视工作电源的电压，当工作电源电压消失或低于一定值时，自动断开工作电源。大多数情况下，低电压启动部分还承担监视备用电源是否有电压的任务。

2. 自动合闸部分

当工作电源非正常断开后，能够自动将备用电源投入。



数字式自动装置的相关概念

数字式自动装置中常用到下列概念：

1. 插件

现代自动化系统各控制单元的机箱内部，是由一个个印制电路板组成的，电路板上焊接有各种芯片及电工电子器件。为了便于调试、检修，在装置不带电的情况下，每个印制电路板一般可以插、拔，因此把每个电路板也称为一个插件。

自动化系统的各单元装置，根据其用途、功能等来选择配置插件。各单元装置机箱内一般设置有：交流插件、模数转换插件、开关量输入插件、故障录波插件、主CPU插件、继电器插件、电源插件、人机对话插件(人机接口电路板)等。

2. 软压板

在常规继电保护装置保护屏的下方都安装有各保护出口回路的连接片，一般也称为硬压板，用于各保护的投入或退出(以下简称投退)。在微机型继电保护装置中为了适应变电站无人值班的需要，便于各种保护的远方投退，一般还设置有软压板，各种保护功能可以通过软压板进行投退。所谓软压板，实质上是在控制软件中用二进制数来定义某个保护功能的投退。通常情况下，如某个保护的软压板设置为“0”，则表示该保护在退出状态;如某个保护的软压板设置为“1”，则表示该保护在投入状态。

3. 控制字

保护装置的控制字用来决定各项保护功能的取舍。控制字和定值清单一起保存在定值存储器中。专业人员可以通过控制字对保护装置的各项功能进行选择。一般每位二进制数代表一项功能的取舍，当某位二进制数整定为“1”时，表示选择该功能，当某位二进制数整定为“0”时，表示不选择该项功能；备用控制字均置“0”。

控制字可以按十六进制数显示，也可以按控制位显示。按十六进制数显示时，每个控制字按4位十六进制数显示，其整定范围为0000～FFFF，由于1位十六进制数相当于4位二进制数，因此每个控制字相当于由16个二进数组成。按控制位显示时，直接用二进制数显示，每一位二进制数代表一项功能的取舍。

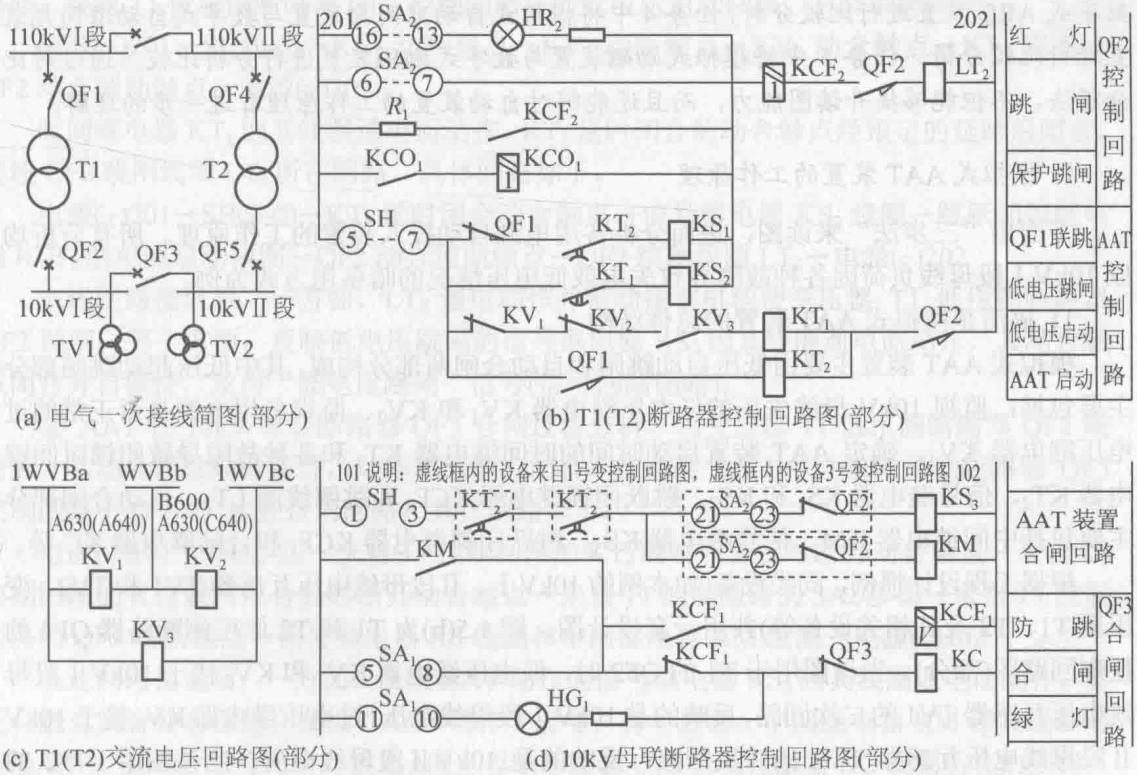
在工程实践中要注重软压板和控制字这 2 个概念的区别，控制字表示一种装置对各项功能的选择，而选择的功能在具体运行中是否采用可通过软压板来设置。通俗地讲，控制字决定具体功能的有无，而软压板确定已选功能在运行中是否采用。

1.3　任务解决方案

在前面对任务进行详细分析的基础上，下面分别利用“三步法”(详见后面的能力储备)来分析模拟式 AAT 装置和数字式 AAT 装置，详细解析两种控制模式下 AAT 装置的总体结构和工作原理。

1.3.1　模拟式 AAT 装置的典型接线及原理分析

根据对备用电源自动投入装置的基本要求和图 1.4 所示变电所的电气一次接线情况，为该变电所设计的模拟式 AAT 装置相关原理电路展开图如图 1.5 所示。



(a) 电气一次接线简图(部分)　(b) T1(T2)断路器控制回路图(部分)

(c) T1(T2)交流电压回路图(部分)　(d) 10kV母联断路器控制回路图(部分)

图 1.5　AAT 装置相关原理电路展开图

能力储备

根据发电厂及电力系统专业培养的高技能人才目标定位，可将自动装置读图能力作为专业核心能力来培养，以充分提高学生的实际工程应用能力，从而提高学生的就业能力。在通过《电力系统自动装置》课程教学进行专业核心能力提升方面主要可采用“三步法”

和“对比分析法”。

1. 运用“三步法”提升学生的自动装置读图能力

在教学实践可通过“三步法”来培养学生的自动装置读图能力，通过反复训练强化以提高学生的读图能力。具体如下：

第一步：搞清楚(正确分析)整套装置的总体结构；

第二步：搞清楚(正确分析)装置正常情况下的工作状态；

第三步：搞清楚(正确分析)装置故障情况下的动作过程。

上述三步中，第二步实质上是关键，因为自动装置正常情况下工作状态分析清楚了，故障情况就容易分析了(一般情况下均相反)。

2. 通过对比分析法提升学生的自动装置读图能力

在专业核心能力培养提升方面，还可采用对比分析法，即采用功能相同的自动装置的两种解决方案进行对比分析，分别进行读图能力的训练，能够起到一定的成效。如任务1中将模拟式AAT装置与数字式AAT装置进行比较分析，任务2中将模拟式ARC装置与数字式ARC装置进行比较分析，任务4中将模拟式自动准同期装置与数字式自动准同期装置进行比较分析，任务5中将模拟式励磁装置与数字式励磁装置进行分析比较。通过对比分析法，不但能够提升读图能力，而且还能够对自动装置的工作原理有进一步的理解。

1. 模拟式AAT装置的工作原理

下面用“三步法”来读图，进而分析备用电源自动投入装置的工作原理。所有分析均以10kVⅠ段母线负荷因各种故障导致失电或低电压情况的暗备用方式为例。

1) 搞清楚模拟式AAT装置的总体结构

模拟式AAT装置主要由低压启动跳闸和自动合闸两部分构成，其中低压起动跳闸部分主要包括：监视10kV母线失压的低电压继电器KV_1和KV_2、监视备用电源是否正常的过电压继电器KV_3、确定AAT装置启动时间的时间继电器KT_1和各种故障导致闭锁时间继电器KT_2、信号继电器KS_1和KS_2、跳跃闭锁继电器KCF_2和跳闸线圈LT_2；自动合闸部分主要包括中间继电器KM、信号继电器KS_3、跳跃闭锁继电器KCF_1和合闸继电器KC等。

根据工程设计惯例，同类设备(如本例的10kVⅠ、Ⅱ段母线电压互感器TV1和TV2，变压器T1、T2及其相关设备等)共用一套设计图。图1.5(b)为T1和T2低压侧断路器QF2的控制回路图(部分)。当该图用于T1的QF2时，低电压继电器KV_1和KV_2接于10kVⅠ段母线电压互感器TV1的二次回路，反映的是10kVⅠ段母线电压，过电压继电器KV_3接于10kVⅡ段母线电压互感器TV2的二次回路，反映的是10kVⅡ段母线电压；当该图用于T2的QF5时，低电压继电器KV_1和KV_2接于10kVⅡ段母线电压互感器TV2的二次回路，反映的是10kVⅡ段母线电压，过电压继电器KV_3接于10kVⅠ段母线电压互感器TV1的二次回路，反映的是10kVⅠ段母线电压。

2) 搞清楚工作电源正常情况下模拟式AAT装置的工作状态

根据该变电所的一次接线情况，当两台变压器同时运行时，由于为暗备用方式，因此T1和T2互为备用，所以正常的运行方式为：1#、2#变压器各自带10kVⅠ、Ⅱ段母线运行；除10kV母线联络断路器处于“跳闸”状态(热备用)外，其余断路器(包括QF1、QF2、QF4、