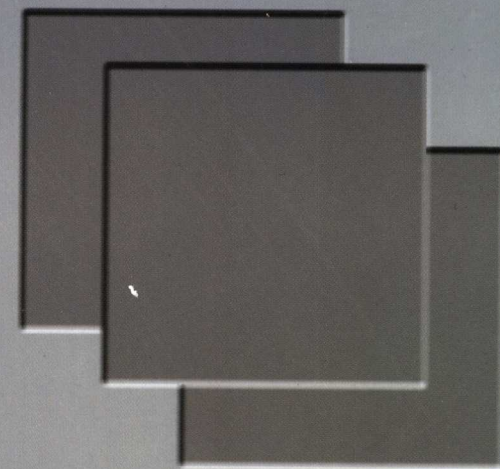




全国高职高专电气类精品规划教材

# 电气二次部分

主编 祝敏 许郁煌



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

全国高职高专电气类精品规划教材

---

# 电气二次部分

主 编 祝 敏 许郁煌

副主编 丁官元



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本教材共分 13 章。主要讲述了变配电所及企事业单位用电单位的电气二次部分的构成、作用及其工作原理。主要内容包括：二次回路的基本知识；二次回路的操作电源；测量、控制及信号回路；输电线路相间短路的电流电压保护、方向电流保护、中性点非直接接地电网的接地保护；电力变压器的继电保护；电动机的继电保护；电力电容器的继电保护；微机继电保护；变配电所的自动装置等。

本教材是高职电气工程及技术专业、供用电技术专业主干课程的教材，也可供变配电所及企事业单位用电单位从事电气二次运行和管理工作的技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电气二次部分/祝敏, 许郁煌主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2004

全国高职高专电气类精品规划教材

ISBN 7-5084-2324-0

I. 电... II. ①祝...②许... III. 电气回路—二次系统—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM645.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085367 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 <b>电气二次部分</b>
作 者	主编 祝敏 许郁煌
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16 开本 18.75 印张 366 千字
版 次	2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	<b>29.00 元</b>

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

教育部在《2003-2007年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003年12月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国14家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

**《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会**

2004年8月

# 前

# 言

本教材以培养应用型人才为目标，按照电气工程及技术和供用电技术专业教学计划，以最新的国家标准、规范、规程为依据，结合编者多年的教学实践进行编写的。在编写过程中注重基本知识、基本理论和基本技能，突出新设备、新原理和新技术，力求概念清楚，深入浅出，便于阅读。

全教材分为13章，由湖北水利水电职业技术学院祝敏和福建水利电力职业技术学院许郁煌主编。第1章~第3章、第13章及附录由许郁煌编写，第4章~第8章、第10章、第11章由祝敏编写，第9章、第12章由湖北水利水电职业技术学院丁官元编写，全书由祝敏负责统稿。

尽管我们对本教材的编写工作高度重视，态度认真，但书中难免会出现错误和不妥之处，诚恳希望使用本书的广大师生和读者批评指正。

编者

2004年8月

# 目 录

序

前言

<b>第 1 章 二次回路的基本知识</b> .....	1
1.1 二次回路的基本概念 .....	1
1.2 二次设备的表示方法 .....	5
1.3 二次回路接线图 .....	7
小结 .....	19
习题 .....	19
<b>第 2 章 二次回路的操作电源</b> .....	21
2.1 概述 .....	21
2.2 蓄电池组直流系统 .....	23
2.3 整流操作的直流系统 .....	27
2.4 直流绝缘监察装置 .....	31
小结 .....	33
习题 .....	34
<b>第 3 章 测量、控制及信号回路</b> .....	35
3.1 电气测量回路 .....	35
3.2 断路器的控制回路 .....	39
3.3 中央信号回路 .....	45
小结 .....	54
习题 .....	54
<b>第 4 章 继电保护概述</b> .....	55
4.1 继电保护的作用 .....	55
4.2 对继电保护装置的基本要求 .....	59
4.3 继电保护的基本原理及组成 .....	63

小结 .....	65
习题 .....	66
<b>第 5 章 继电保护的基础元件 .....</b>	<b>67</b>
5.1 继电器 .....	67
5.2 电流互感器和电压互感器 .....	77
5.3 测量变换器 .....	88
小结 .....	90
习题 .....	91
<b>第 6 章 输电线路相间短路的电流电压保护 .....</b>	<b>93</b>
6.1 无时限电流速断保护 .....	93
6.2 带时限电流速断保护 .....	97
6.3 定时限过电流保护 .....	100
6.4 阶段式电流保护 .....	105
6.5 电流电压联锁保护 .....	109
6.6 反时限过电流保护 .....	114
小结 .....	121
习题 .....	122
<b>第 7 章 输电线路相间短路的方向电流保护 .....</b>	<b>124</b>
7.1 方向电流保护的工作原理 .....	124
7.2 功率方向继电器 .....	128
7.3 功率方向继电器的接线方式 .....	132
7.4 非故障相电流的影响与按相起动 .....	136
7.5 方向电流保护的整定计算 .....	138
小结 .....	141
习题 .....	141
<b>第 8 章 中性点非直接接地电网的接地保护 .....</b>	<b>143</b>
8.1 中性点不接地电网的接地保护 .....	143
8.2 中性点经消弧线圈接地电网的接地保护 .....	151
小结 .....	153
习题 .....	154



<b>第 9 章 电力变压器的继电保护</b> .....	155
9.1 电力变压器的故障、不正常运行状态及保护配置 .....	155
9.2 电力变压器的瓦斯保护 .....	157
9.3 电力变压器的电流速断保护.....	159
9.4 电力变压器的纵联差动保护.....	160
9.5 电力变压器相间短路的后备保护和过负荷保护 .....	173
9.6 电力变压器的温度保护 .....	178
9.7 电力变压器保护接线全图举例 .....	179
小结 .....	182
习题 .....	183
<b>第 10 章 电动机的继电保护</b> .....	184
10.1 电动机的故障、不正常运行状态及保护配置 .....	184
10.2 电动机的电流速断保护和过负荷保护 .....	186
10.3 电动机的纵联差动保护 .....	189
10.4 电动机的单相接地保护 .....	190
10.5 电动机的低电压保护 .....	191
10.6 同步电动机的失步保护 .....	194
小结 .....	196
习题 .....	196
<b>第 11 章 电力电容器的继电保护</b> .....	197
11.1 电力电容器的故障、不正常运行状态及保护配置 .....	197
11.2 由熔断器构成的电力电容器的保护.....	198
11.3 电力电容器组的过电流保护 .....	199
11.4 电力电容器组的横联差动保护 .....	201
11.5 电力电容器组的中性点电流平衡保护.....	203
11.6 电力电容器组的过电压保护 .....	204
小结 .....	205
习题 .....	205
<b>第 12 章 变配电所自动装置</b> .....	206

12.1	备用电源自动投入装置 .....	206
12.2	自动重合闸装置 .....	211
12.3	按频率自动减负荷装置 .....	227
	小结 .....	233
	习题 .....	234
<b>第 13 章</b>	<b>微机继电保护简介 .....</b>	<b>236</b>
13.1	微机继电保护概述 .....	236
13.2	微机继电保护硬件组成原理 .....	239
13.3	微机继电保护的算法 .....	253
13.4	数字滤波器概述 .....	262
13.5	输电线路微机保护装置举例 .....	268
	小结 .....	279
	习题 .....	280
附录 1	常用电气图形符号 .....	281
附录 2	常用电气文字符号 .....	283
	参考文献 .....	289

## 二次回路的基本知识

**【教学要求】** 了解二次回路的作用和内容，弄清二次回路图形符号中的触点状态，了解二次设备的表示方法，了解二次回路接线图的分类，掌握二次回路接线图的基本读图方法。

### 1.1 二次回路的基本概念

#### 1.1.1 二次回路的内容

二次回路是电力系统安全、经济、稳定运行的重要保障，是变配电所电气系统的重要组成部分。随着变配电所电压等级的提高，电气控制正向自动化、弱电化、微机化和综合型方面发展，使二次回路显得越来越重要。

变配电所的电气设备通常分为一次设备和二次设备，其控制接线又可分为一次接线和二次接线。

一次设备是指直接输送和分配电能的设备，如变压器、断路器、隔离开关、电力电缆、母线、输电线、电抗器、避雷器、高压熔断器、电流互感器、电压互感器等。

一次接线又称主接线，是一次设备及其相互间的连接电路。

二次设备是指对一次设备起控制、保护、调节、测量等作用的设备。

二次接线又称二次回路，是二次设备及其相互间的连接电路。

二次回路是一个具有多种功能的复杂网络，其内容包括高压电气设备和输电线路的控制、调节、信号、测量与监察、继电保护与自动装置、操作电源等系统。分述如下：

(1) 控制系统由各种控制器具、控制对象和控制网络构成。其主要作用是对变配电所的开关设备进行远方跳、合闸操作，以满足改变电力系统运行方式及处理故障的要求。控制系统按自动化程度的不同分为手动控制、半自动控制 and 自动控制；按控制



方式的不同分为分散控制和集中控制；按控制距离的不同分为就地控制和远方控制；按操作电源的不同分为直流控制、交流控制、强电控制和弱电控制等。强电控制采用直流 110V 或 220V，交流额定值 100V、5A；弱电控制采用直流 60V 及以下，交流 50V、1A 及以下。

(2) 信号系统由信号发送机构、接收显示元件及其网络构成。其作用是准确、及时地显示出相应一次设备的工作状态，为运行人员提供操作、调节和处理故障的可靠依据。信号系统按信号性质的不同分为事故信号、预告信号、指挥信号、位置信号、继电保护及自动装置动作信号等；按信号的显示方式不同分为灯光信号、音响信号和其他显示信号；按信号的响应时间不同分为瞬时动作信号和延时动作信号；按信号的复归方式不同分为手动复归信号和自动复归信号。

(3) 测量与监察系统由各种电气测量仪表、监测装置、切换开关及其网络构成。其作用是指示或记录主要电气设备和输电线路的运行参数，作为生产调度和值班人员掌握电气一次系统的运行情况，进行经济核算和故障处理的主要依据。

(4) 继电保护与自动装置系统由互感器、变换器、各种继电保护及自动装置、选择开关及其网络构成。其作用是监视电气一次系统的运行状况，一旦出现故障或不正常状态便自动进行处理，并发出信号。

(5) 调节系统由测量机构、传送设备、执行元件及其网络构成。其作用是调节某些一次设备的工作参数，以保证一次设备和电力系统的安全、经济、稳定运行。调节方式分手动、半自动和自动三种。

(6) 操作电源系统由直流电源设备和供电电网构成。其作用是供给上述各二次系统的工作电源，高压断路器的跳、合闸电源及其他重要设备的事故电源。大型变电所主要采用蓄电池组操作电源；中小型变配电所广泛采用整流型操作电源。

### 1.1.2 二次回路接线图的分类

图纸是工程的语言。二次接线图是变配电所的重要技术资料。为了使图纸简洁清晰，满足订货、安装、运行的要求，绘制二次接线图必须使用国家标准规定的图形符号（见附录），并遵守一定的绘图标准（国际 IEC）。变配电所的二次接线图数量很多，按用途和绘制方法的不同，一般分为原理图、布置图、安装图和解释性图四类。

#### 1. 原理接线图

原理接线图是二次接线的原始图纸，用以表述二次回路的构成、相互动作顺序和工作原理。在我国，习惯上把原理图分为归总式和展开式两种形式。

#### 2. 布置图

二次接线的布置图有控制室的平面布置图，控制与保护屏的屏面布置图，控制





室、配电装置的小母线布置图等数种。这些都是二次接线施工设计不可缺少的内容。绘制布置图要以变配电所的整体规划和有关原理图为依据，并要满足二次接线设计有关技术规定。

### 3. 安装接线图

安装接线图是控制、保护等屏（台）制造厂生产加工和现场安装施工用的图纸，也是运行试验、检修等的主要参考图纸，是根据原理展开接线图绘制的。安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图和端子排图几个组成部分，简单介绍如下。

(1) 屏面布置图。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按比例画出的正视图，它是屏背面接线图的依据。

(2) 屏背面接线图。屏背面接线图是指从屏的背面看的、表明屏内设备在屏背面的引出端子之间的连接情况以及端子与端子排之间连接关系的图。屏背面接线图是以屏面布置图为基础，以原理展开接线图为依据绘制的接线图。

(3) 端子排图。端子排图是指从屏背后看、表明屏内设备连接和屏内设备与屏外设备连接关系的图。端子排图需表明端子类型、数量以及排列顺序。

安装接线图中各种设备、仪表、继电器、开关、指示灯等元器件以及连接导线，都是按照它们的实际位置和连接关系绘制的，为了施工和运行检修的方便，所有设备的端子和连线都按“相对编号法”的原则标注编号。

安装接线图是最具体、最详细的施工图，是照图施工（接线）的工程图。

### 4. 解释性图

解释性图是除了原理图、布置图和安装图以外根据实际需要绘制的图。常用的解释性图有表示生产工艺流程的示意图；表示操作及动作过程的逻辑框图；继电保护、自动装置及测量仪表的配置图；二次电缆联系图以及二次系统图等。

## 1.1.3 二次回路图形符号中的触点状态

在二次回路中，继电器及其他电器元件触点位置均以一定的状态表示。

电器元件通常有以下几种工作状态。

#### 1. 失势状态

电器元件的线圈尚未通电的状态。

#### 2. 原始状态

电器元件的线圈已投入工作，但尚未使电器动作的状态。例如，电流互感器回路中的电流继电器在正常工作时属于此状态。

#### 3. 工作状态

电器元件动作时的状态。例如，电气一次系统发生短路时电流继电器动作。



继电器是各种继电保护装置的基本组成元件。继电器的工作特点（继电特性）是：表征外界现象的输入量达到整定值时，其输出电路中的被控电气量将发生预定的阶跃变化。

过去习惯是按失势状态作为继电器与电器的正常状态，亦即继电器线圈内没有通过电流和电气设备断开（如断路器跳闸）时作为正常状态。

通常，是在继电器线圈在没有输入量（或输入量未达到整定值）的状态下，断开着的触点称动合触点（或常开触点）；闭合着的触点称动断触点（或常闭触点）。动合触点当继电器线圈（或电器）的输入量达到整定值时，其触点闭合；动断触点当继电器线圈（或电器）的输入量达到整定值时，其触点断开。例如，中间继电器的线圈不带电不动作时，其动断触点闭合，动合触点断开；而当中间继电器线圈带电动作时，其动断触点断开，动合触点闭合。对于断路器辅助触点的状态，则取断路器分闸状态为正常状态，在分闸时，动断触点闭合，动合触点断开；而合闸时，动断触点断开，动合触点闭合。

#### 1.1.4 二次回路技术的发展

近几十年来，由于大型电力系统的形成，机组容量的增大，电子、微机、光纤等新技术的应用，大大推动了二次回路技术的发展。

二次回路技术水平的高低是变配电所生产自动化程度的重要标志。变配电所的控制方式是二次回路技术发展的重要体现。它从简单的就地分散控制，到现代化的综合控制，经历了以下三个发展阶段。

##### 1. 就地分散控制

就地分散控制是对每一个被控制对象设置独立的控制回路，实行一对一的控制。这种控制方式简便易行，但不便于各设备间的协调配合，适用于小型变配电所。在大、中型变配电所中，只在 6~10kV 用户线路、互为备用的所用低压变压器和车间辅助变压器上采用。

##### 2. 集中控制

集中控制是在变配电所内设置一个中央控制室（又称主控制室），对变配电所的主要电气设备（如主变压器、高压所用变压器、35kV 及以上电压的输电线路等）实行远方集中控制时。采用集中控制时，相应的继电保护、自动装置也安装在中央控制室内，不但可以节省操作电缆、便于调试维护，而且会提高运行的安全性。集中控制按选择控制对象方式的不同，分为一对一控制和一对 N 选线控制；按采用的电压、电流额定值大小的不同，分为强电控制和弱电控制。通常，在我国 35kV 及以上的变电所，广泛采用中央控制室控制。





### 3. 综合控制

综合控制就是以电子计算机为核心，同时完成发电厂及变电所的控制、监察、保护、测量、调节、分析计算、计划决策等功能，实现最优化运行。综合控制是电力生产过程自动化水平高度发展的重要标志。

## 1.2 二次设备的表示方法

二次回路图的图例、设备符号及回路标号已有国家标准，在国际上有 IEC 标准。标志的原则是简单易懂。

### 1.2.1 二次设备的图形符号

图形符号可以形象地表示设备、器具及其线圈和触点的类型，见附录 1。它包括：

**基本符号：**一般不代表独立的设备和器具，它标注于设备和器具符号之旁（或之中）以说明某些特征或绕组的接线方式等。

**一般符号：**用以表示设备或元件类别，或用于与其他图形符号、物理符号、文字符号相结合派生出明细符号。

**明细符号：**用以代表具体器具和设备。

### 1.2.2 二次设备的文字符号

文字符号用以表示设备的名称、用途和特征。在二次接线图中二次设备以一定图形表示外，为了更好地表达和传递图纸信息，还在图形上增注文字符号，见附录 2。

#### 1. 在原理接线图上的文字符号

文字符号用以表示电工设备的名称、用途和特征。不同的设备和器具应标以不同的文字符号。同一电路图中相同型号的设备 and 器具也应在其文字符号前标以数字符号以示区别。它包括：

(1) **基本符号：**用以标志电工设备及电路的基本名称。例如：继电器用 K、开关用 S 表示。

(2) **辅助符号：**用以标志电工设备及线路的用途和主要特征。例如：电流用 A 表示，电压用 V 表示。

(3) **数字符号：**用以区分出现在同一电路图上的几个相同设备或线路的顺序编号。

(4) **附加符号：**用以标志同一电工设备或线路某些元件的附加特征或区分特征相



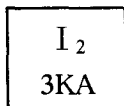
同，但出现在不同电工设备或线路上的元件。例如 A 相用 A 表示。

例如：1TA<sub>A</sub>——表示 1 号电流互感器的 A 相。

### 2. 屏面布置图上的文字符号

在屏面布置图上，为便于看出各设备安装单位及型号规格，还增加了安装单位编号及设备表的顺序号。

例如



其中 I——设备安装单位编号（如变压器保护）；

2——设备表的顺序号；

3KA——设备数字符号，它和原理图一致。此编号写于设备图内。

### 3. 安装接线图上的设备文字标号

在安装接线图上的设备标号必须与原理图和展开图一致，如图 1-1 所示。

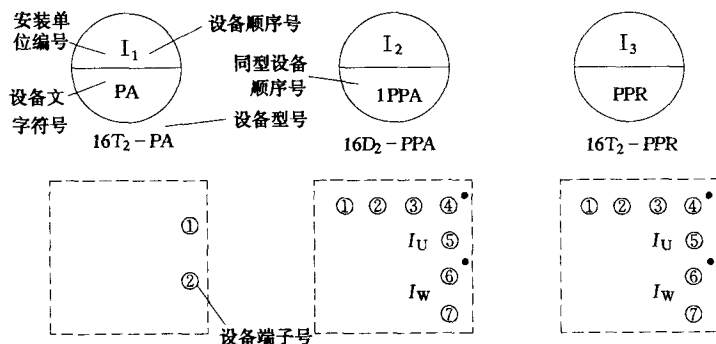


图 1-1 屏背面接线图中设备标志法

(1) 设备文字符号：如电流表用“PA”表示，有功功率表用“PPA”表示，红色信号灯用“HR”表示等。

(2) 安装单位编号：为了区别装在同一屏上不同一次设备所对应的二次设备，在设备上应有安装单位编号。安装单位编号以罗马字符 I、II、III 等来表示。属于同一路馈线的有关二次设备，均标以相同的罗马字符。

(3) 同型设备顺序号：为区别同一安装单位中的几个相同的设备，故在设备文字编号前加上数字编号，如 1KA、2KA 等或者 1KS、2KS 等。

(4) 设备顺序号：同一安装单位所用设备（不管同型或不同型），根据它们在屏上位置，自左而右，自上而下，用数字编号。







## 1.3 二次回路接线图

二次回路接线图包括原理图、屏面布置图、屏背面安装接线图、端子排和小母线布置图。二次回路的原理接线图是用来表示二次接线各元件（二次设备）的电气连接及其工作原理的电气回路图。二次接线的原理接线图分为归总式原理图和展开式原理图。

二次回路的最大特点是其设备、元件的动作严格按照设计的先后顺序进行，其逻辑性很强，所以读原理图时只需按一定的规律进行，便会显得条理清楚，易读易记。

看图的基本方法可以归纳为如下六句话（即“六先六后”）：先一次，后二次；先交流，后直流；先电源，后接线；先线圈，后触点；先上后下；先左后右。下面对这“六先六后”进行说明。

“先一次，后二次”，就是当图中有一次接线和二次接线同时存在时，应先看一次部分，弄清是什么设备和工作性质，再看对一次部分起监控作用的二次部分，具体起什么监控作用。

“先交流，后直流”，就是当图中有交流和直流两种回路同时存在时，应先看交流回路，再看直流回路。因交流回路一般由电流互感器和电压互感器的二次绕组引出，直接反映一次接线的运行状况；而直流回路则是对交流回路各参数的变化所产生的反映（监控和保护作用）。

“先电源，后接线”，就是不论在交流回路还是直流回路中，二次设备的动作都是由电源驱动的，所以在看图时，应先找到电源（交流回路的电流互感器和电压互感器的二次绕组），再由此顺回路接线往后看：交流沿闭合回路依次分析设备的动作；直流从正电源沿接线找到负电源，并分析各设备的动作。

“先线圈，后触点”，就是先找到继电器或装置的线圈，再找到其相应的触点。因为只有线圈通电（并达到其起动作值），其相应触点才会动作；由触点的通断引起回路的变化，进一步分析整个回路的动作过程。

“先上后下”和“先左后右”，这个要领主要是针对端子排图和屏后安装图而言。看端子排图一定要配合展开图来看。

以上所说的“六先六后”是二次回路看图的基本方法和一般性规律，对于个别情况还需具体分析。

### 1.3.1 归总式原理接线图

归总式原理接线图（简称原理图）的特点如下：

