

电工技术无师自通系列丛书

电气控制线路 识读与故障检测

李良洪 陈影 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

014010585

TM571.2

50

电工技术无师自通系列丛书

电气控制线路 识读与故障检测

李良洪 陈影 主 编
俞渭明 郭振东 赵玲 副主编
黄永义 李志勇 主 审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1696907

TM571.2
50

内 容 简 介

本书紧跟现代技术的发展,以传统的电气控制技术为基础内容,把前沿知识融入书中。本书首先介绍电气控制线路识读基础、常用低压电器,然后介绍电气控制线路的基本环节、电气控制线路的一般设计方法,最后介绍电气控制线路的故障排除。本书以简洁明了的文字和通俗易懂的插图相结合,辅以实际应用举例和经验,使复杂的理论容易被读者接受和理解,从而达到活学活用的目的。

本书可供初学电气控制线路的技术人员参考,也可作为高职高专相关专业学生的参考用书。

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

图书在版编目(CIP)数据

电气控制线路识读与故障检测 / 李良洪, 陈影主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.10

(电工技术无师自通系列丛书)

ISBN 978-7-121-21553-7

I. ①电… II. ①李… ②陈… III. ①电气控制—控制电路—识别②电气控制—控制电路—故障检测
IV. ①TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 225386 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 张 京

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 16 字数: 358.4 千字

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

本书以常用低压电器、基本控制电路为主线，通过大量的图片和基本原理的讲解，让电工爱好者和初学者动手实践并在实践中逐步理解电气控制线路的基本环节与基本作用，最终达到能根据控制要求正确设计电气控制线路的目的。同时对电气控制线路中容易产生故障有所了解并会排除故障。

本书力求深入浅出、语言精练、通俗易懂、突出实用性，并通过大量范例进行讲解，逐步深入地介绍学看电气图的方法和步骤，兼顾覆盖面，并注意培养读者分析问题和解决问题的能力，使读者可以从易到难，循序渐进，更好地了解和掌握各种电气控制线路的工作原理及绘制方法。

全书共分5章：第1章为电气控制线路识读基础，第2章为常用低压电器，第3章为电气控制线路的基本环节，第4章为电气控制线路的一般设计方法，第5章为电气控制线路的故障排除。

本书由李良洪、陈影任主编，俞渭明、郭振东、赵玲任副主编，参加本书编写工作的还有何惠英、张淼、马博韬、刘卜源、潘平、蒋建峰等。全书由黄永义、李志勇主审。

在编写本书时，引用了众多电工师傅和电气工作者的成功经验和资料，难以一一列举，谨在此向有关杂志和资料的作者表示诚挚的谢意。同时，由于时间仓促、作者实践经验和学识水平有限，书中缺点、错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 电气控制线路识读基础	(1)
第1节 电气图的组成和表达形式	(1)
1.1.1 电气图的组成	(1)
1.1.2 电气图的表达形式	(2)
1.1.3 电气图的主要特点	(3)
第2节 电气图的分类及其特点	(3)
1.2.1 系统图(或框图)	(4)
1.2.2 电路图	(5)
1.2.3 接线图(或接线表)	(9)
1.2.4 逻辑图	(11)
第3节 常用电气图形符号和电气项目代号	(16)
1.3.1 常用电气图形符号	(16)
1.3.2 电气项目代号	(18)
1.3.3 电气设备常用文字符号	(20)
第4节 识读电气图的基本方法和步骤	(27)
1.4.1 识读电气图的必备知识	(27)
1.4.2 识读电气图的基本方法	(29)
1.4.3 识读电气图的基本步骤	(30)
第2章 常用低压电器	(32)
第1节 低压电器的基本知识	(32)
2.1.1 低压电器的分类	(32)
2.1.2 低压电器的命名方法	(33)
2.1.3 低压电器的主要技术指标和参数	(36)
2.1.4 低压电器的基本结构	(41)
2.1.5 低压电器的正确选用	(48)
第2节 低压开关	(49)
2.2.1 刀开关	(49)
2.2.2 负荷开关	(53)
2.2.3 组合开关	(59)
第3节 主令电器	(62)

2.3.1	控制按钮	(62)
2.3.2	行程开关	(66)
2.3.3	接近开关	(69)
2.3.4	万能转换开关	(72)
第4节	接触器	(73)
2.4.1	接触器的型号含义及图形符号	(74)
2.4.2	交流接触器	(74)
2.4.3	直流接触器	(80)
2.4.4	真空接触器	(81)
2.4.5	接触器的主要技术参数	(83)
2.4.6	接触器的选择	(84)
第5节	继电器	(84)
2.5.1	电磁式继电器	(85)
2.5.2	中间继电器	(91)
2.5.3	时间继电器	(92)
2.5.4	热继电器	(99)
2.5.5	速度继电器	(104)
第6节	断路器与熔断器	(106)
2.6.1	低压空气断路器	(106)
2.6.2	熔断器	(113)
第3章	电气控制线路的基本环节	(119)
第1节	基本控制电路	(119)
3.1.1	点动控制电路	(119)
3.1.2	自锁控制电路	(120)
3.1.3	互锁控制电路	(121)
3.1.4	多地控制电路	(121)
3.1.5	顺序控制电路	(123)
3.1.6	延时控制电路	(125)
第2节	基本保护电路	(127)
3.2.1	电流型保护	(128)
3.2.2	电压型保护	(132)
3.2.3	位置保护	(133)
第4章	电气控制线路的一般设计方法	(135)
第1节	电气控制线路设计基础	(135)

4.1.1	电气控制线路设计的主要内容	(135)
4.1.2	电气控制设计的一般程序	(138)
4.1.3	电气控制原理图设计的基本步骤	(139)
第 2 节	电气控制线路的设计方法	(139)
4.2.1	电气控制线路的经验设计法	(140)
4.2.2	电气控制线路的逻辑设计法	(146)
第 3 节	电气控制线路设计的基本原则	(153)
第 4 节	电动机的选择	(160)
第 5 节	电气控制线路设计举例	(161)
第 5 章	电气控制线路的故障排除	(169)
第 1 节	检修电气控制线路故障的一般方法	(169)
第 2 节	低压电器的常见故障及维修	(176)
5.2.1	电磁机构的故障现象及维修方法	(176)
5.2.2	触点的故障检修及调整	(177)
5.2.3	常见低压电器的故障及检修	(178)
第 3 节	机床的电气故障分类及检修电气故障的步骤	(191)
5.3.1	电气故障的分类	(191)
5.3.2	电气故障的检修步骤	(192)
5.3.3	电气故障的常见原因及排除方法	(193)
第 4 节	三相异步电动机控制线路的常见故障及排除	(194)
5.4.1	三相笼型异步电动机全压启动控制电路的检查及故障排除	(194)
5.4.2	三相笼型异步电动机星-三角降压启动控制电路的线路检查及故障排除	(204)
5.4.3	三相异步电动机制动控制电路的检查及故障排除	(205)
5.4.4	三相异步电动机调速控制线路的检查及故障处理	(208)
第 5 节	机床电气控制线路故障实例分析	(210)
5.5.1	X62W 型卧式万能铣床的电气控制系统	(210)
5.5.2	C650 型卧式车床的电气控制系统	(218)
5.5.3	M7120 型磨床的电气控制系统	(225)
5.5.4	Z3040 型摇臂钻床的电气控制系统	(232)
5.5.5	T68 型卧式镗床的电气控制系统	(238)

第 1 章 电气控制线路识读基础

第 1 节 电气图的组成和表达形式

1.1.1 电气图的组成

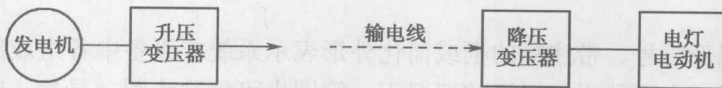
电气图一般由电路、技术说明和标题栏三部分组成。电气图画面布局如图 1-1 所示。



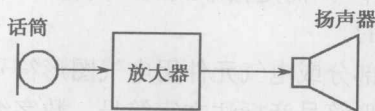
图 1-1 电气图画面布局

1. 电路

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,就构成电路的目的来说一般有两个,一是进行电能的传输、分配与转换,如图 1-2 (a) 所示的电力系统;二是进行信息的传递和处理,如图 1-2 (b) 所示的扩音机。这里着重介绍前一类电路。



(a) 电力系统



(b) 扩音机

图 1-2 电路示意图



进行电能的传输、分配与转换的电路（以下简称电路）通常分为主电路和辅助电路两部分。主电路也称为一次回路，是电源向负载输送电能的电路，一般包括发电机、变压器、开关、接触器、熔断器和负载等。辅助电路也称为二次回路，是对主电路进行控制、保护、监测、指示的电路，一般包括继电器、仪表、指示灯、控制开关等。通常主电路通过的电流较大，导线的线径较粗；而辅助电路中的电流较小，导线的线径也较细。

电路是电气图的主要构成部分。由于电气元件的外形和结构比较复杂，因此采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示电气元件的不同种类、规格及安装方式。此外，根据电气图的不同用途，要绘制成不同的形式。有的只绘制电路图，以便了解电路的工作过程及特点。有的只绘制装配图，以便了解各电气元件的安装位置及配线方式。对于比较复杂的电路，通常还绘制安装接线图。必要时，还要绘制分开表示的接线图（俗称展开接线图）、平面布置图等，以供生产部门和用户使用。

2. 技术说明

电气图中的文字说明和元件明细表等总称为技术说明。文字说明注明电路的某些要点及安装要求等，通常写在电路图的右上方，若说明较多，通常采用附页来说明。元件明细表用来列出电路中元件的名称、符号、规格和数量等。元件明细表以表格形式写在标题栏的上方，元件明细表中的序号是按自下而上进行编排的。

3. 标题栏

标题栏在电路图的右下角，其中注有工程名称、图名、图号，还有设计人、制图人、审核人、批准人的签名和日期等。标题栏是电路图的重要技术档案，栏目中的签名者对图中的技术内容要各负其责。

1.1.2 电气图的表达形式

1. 简图

简图是用图形符号、带注释的框或简化外形表示系统或设备中各组成部分相互关系及其连接关系的图。在不致引起混淆的情况下，简图也可简称为图。显然，电气图的大多数图，如概略图（也称系统图或框图）、逻辑图、功能图、电路图、接线图都属于简图。

简图并不是指内容“简单”，而是指形式的“简化”，它是相对于严格按几何尺寸、绝对位置等绘制的机械图而言的。

简图的特点：①各组成部分或电气元件用电气图形符号表示，而不具体表示其外形及结构等特征；②在相应的图形符号旁标注文字符号、数字编号；③按功能和电流流向表示各装置、设备及电气元件的相互位置和连接顺序；④没有投影关系，不标注尺寸。



2. 表图

表图是一种新的图种。它是用数量很少的专用图形符号和文字说明相结合的方法,来描述两个或两个以上变量之间关系的一种图,如曲线图、时序图、功能表图。在不致引起混淆的情况下,表图也可简称为图。需要指出,表图不能理解为图表,因为表图的表达形式主要是用图而不是用表。

3. 表格

表格是把数据等内容纵横排列的一种表达形式,用以说明系统、成套设备中各组成部分的相互关系或连接关系,以及用以提供工作参数。表格可简称为表,如常见的设备表等。

1.1.3 电气图的主要特点

电气图与机械图、建筑图及其他专业的技术图相比,主要具有以下特点。

- (1) 简图是电气图的主要形式。
- (2) 元件和连接线是电气图的主要表达内容。
- (3) 图形符号、文字符号是组成电气图的主要要素。
- (4) 电气图中的电气元件都是按自然状态绘制的。

所谓“自然状态”,即电气元件和设备的可动部分表示为不工作或非激励(未通电、未受外力作用)的状态或位置,如接触器线圈未通电,因而其触点在还未动作的位置,断路器、负荷开关等在断开位置。

- (5) 电气图往往与主体工程及其他配套工程的图密切关联。

第2节 电气图的分类及其特点

电气图是电气技术领域中最重要提供信息的方式,由于其表达对象、提供信息类型及表达方式的不同,导致了电气图的多样性。例如,表明系统的规模、整体方案、组成情况、主要特性时,需要概略图;表示系统、装置的电气作用原理,分析电路特性时,需要电路图;表示电气装置各元件间的连接关系,便于安装和接线时,需要接线图;在数字电子电路中,还有表明功能件实现逻辑功能的逻辑图等。各类型的电气图除了遵循电气图的一般规则外,还有各自的特点。

电气图的种类很多,本书仅介绍概略图(也称系统图或框图)、电路图、逻辑图、接线图。



1.2.1 系统图（或框图）

系统图（或框图）是用符号或带注释的框概略地表示系统、分系统、成套装置或设备的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。从体系的角度看，系统图（或框图）概括地表达了设计的整体方案、简要工作原理和主要组成部分及各组成部分间的相互关系；从功能的角度看，系统图（或框图）概略地表达各个组成部分的主要特征，即对项目的可能性和作用等做出简要说明。

系统图可分不同层次绘制，可参照绘图对象的逐级分解来划分层次。较高层次的系统图可反映对象的概况；较低层次的系统图可将对象表达得较为详细。

1. 系统图（或框图）的用途

系统图（或框图）为进一步编制详细技术文件及逻辑图、电路图、接线图、平面图等，为进行有关的电气计算、选择导线和开关等设备，以及拟定配电装置的布置和安装位置等，提供主要依据，供安装、操作和维修时参考。

2. 系统图（或框图）的基本形式

系统图（或框图）的布局采用功能布局法，能清晰表达过程和信息的流向，便于识图。控制信号流向与过程流向应相互垂直。基本形式有以下几种。

（1）用一般符号绘制的系统图：如图 1-3 所示为只有一个变配电所的某工厂供电系统图，图 1-4 为某住宅楼照明配电系统图。

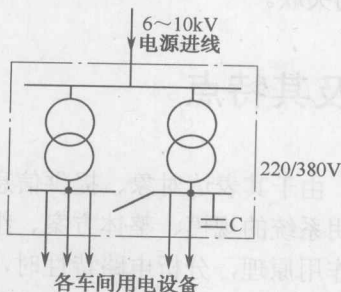


图 1-3 供电系统图

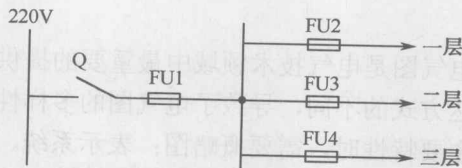


图 1-4 住宅楼照明配电系统图

（2）框图：表示系统或分系统的组成时通常采用框图的形式。图 1-5 所示是某整流装置构成框图，它主要由整流器及其对整流输出电压、电流的大小进行控制的装置的图形符号构成。

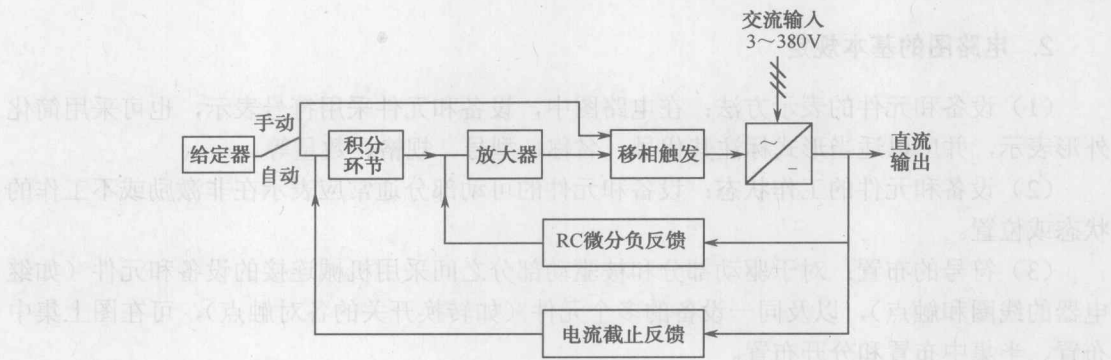


图 1-5 整流装置构成框图

(3) 与非电流程统一绘制的系统图：在某些情况下能更清楚地表示系统的构成和特征。图 1-6 所示是表示某一水泵电动机供电和给水统一绘制的系统图。它表示了电动机供电、水泵工作和控制三部分间的连接关系。

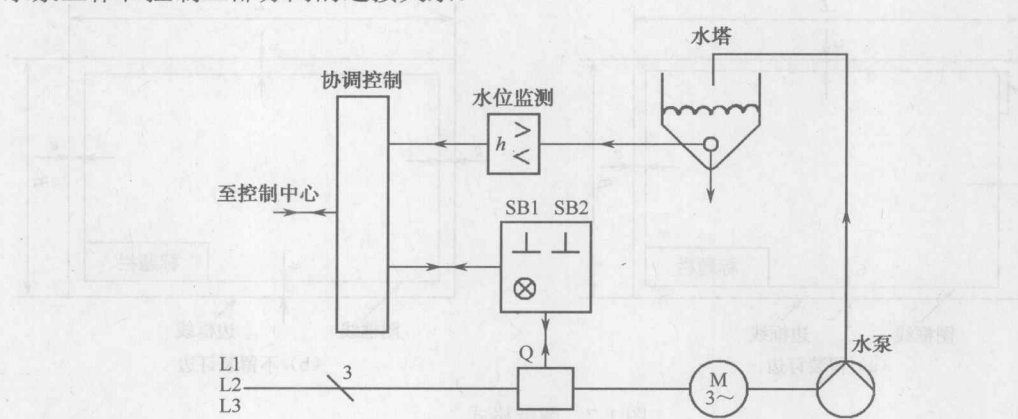


图 1-6 水泵电动机供电和给水统一绘制的系统图

1.2.2 电路图

1. 电路图的主要用途

电路图是采用图形符号和文字符号并按工作顺序详细表示电路、设备或成套装置的基本组成和连接关系，而不考虑其实际位置的一种图形。电路图可用于详细理解电路表达对象的工作原理、分析和计算电路特性，为测试和寻找故障提供信息，并为绘制接线图提供依据。电路图可单独绘制，也可与接线图、功能图（表）等组合绘制。



2. 电路图的基本规定

(1) 设备和元件的表示方法：在电路图中，设备和元件采用符号表示，也可采用简化外形表示，并应以适当形式标注其代号、名称、型号、规格、数量等。

(2) 设备和元件的工作状态：设备和元件的可动部分通常应表示在非激励或不工作的状态或位置。

(3) 符号的布置：对于驱动部分和被驱动部分之间采用机械连接的设备和元件（如继电器的线圈和触点），以及同一设备的多个元件（如转换开关的各对触点），可在图上集中布置、半集中布置和分开布置。

3. 电路图的表示方法

(1) 图幅分区法（也称坐标法）。图纸通常由边框线、图框线、标题栏、会签栏组成，其格式如图 1-7 所示。

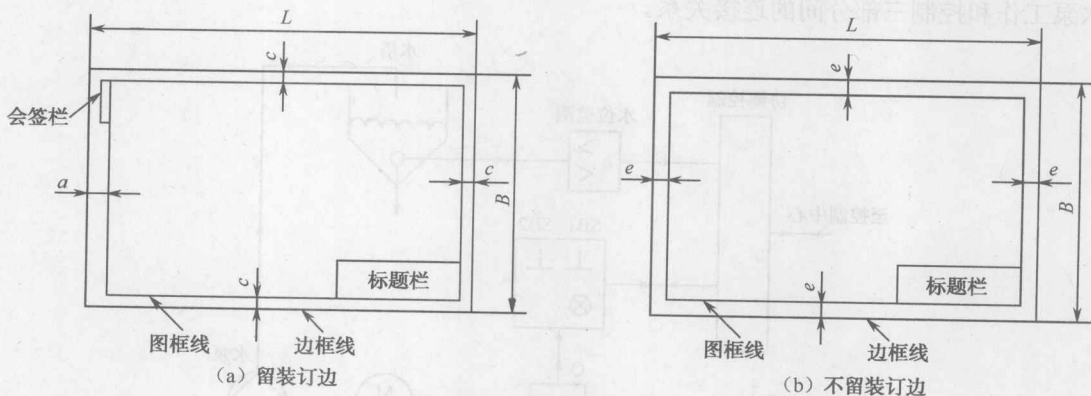


图 1-7 图纸格式

图纸幅面简称图幅（也称幅面），指由边框线所围成的图面。通常根据图的复杂程度和图线的密集程度选定图幅。电气图的基本幅面有五种，其幅面代号及其尺寸如表 1-1 所示，由表可知，A0 幅面的长边恰好为 A1 幅面短边的 2 倍；A0 幅面的短边恰好与 A1 幅面长边相等，因此将 A0 幅面沿长边对折，可以得到两张 A1 幅面。其他幅面之间也近似有这种关系。

表 1-1 基本幅面的代号及尺寸

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
宽×长 (B×L) /mm	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297
留装订边宽 (c) /mm	10	10	10	5	5
不留装订边宽 (e) /mm	20	20	10	10	10
装订侧边宽 (a) /mm	25	25	25	25	25



若基本幅面不能满足要求,按规定可以加大幅面。A0~A2号图纸一般不得加长,A3、A4号图纸可根据需要,沿短边加长。如果需要加长图纸,应采用表1-2所规定的幅面。

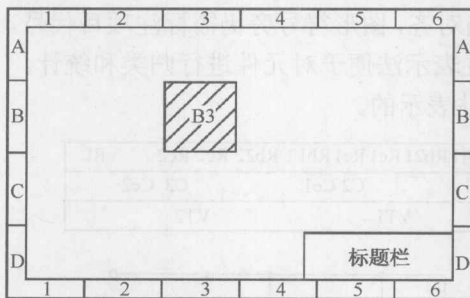
表 1-2 加长图纸的代号及尺寸

幅面代号	A3×3	A3×4	A4×3	A4×4	A4×5
宽×长(B×L)/mm	420×891	420×1189	297×630	297×841	297×1051

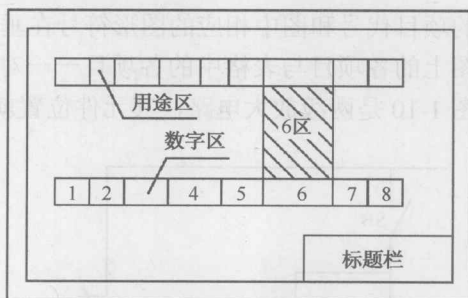
图幅分区即将整个图样的幅面分区,将图纸相互垂直的两边各自加以等分,每一分区长度为25~27mm。然后从图样的左上角开始,在图样周边的竖边方向按行用大写字母分区编号,横边方向按列用数字分区编号,图中某个位置的代号用该区域的字母和数字组合起来表示。图幅分区后,相当于在图样上建立了一个坐标。电气图上项目和连接线的位置则由此“坐标”唯一地确定。

项目和连接线在图上的位置有三种表示方式:用行的代号(字母)表示,如A、B;用列的代号(数字)表示,如3、4;用区的代号表示。区的代号为字母和数字的组合,且字母在左、数字在右,如B3、C4。

在采用图幅分区法的电路中,对于水平布置的电路,一般只需标明行的标记;对于垂直布置的电路,一般只需标明列的标记;复杂的电路图才需要标明组合标记,如图1-8(a)所示阴影部分的位置表示成B3。分区位置代号及标记方法如表1-3所示。



(a) 普通电气图的图幅分区



(b) 机床电气控制线路的图幅分区

图 1-8 图幅分区法

表 1-3 分区位置代号及标记方法

符号或元件在图中的位置		标记方法
有关联的符号在同一张图内	本图中的B行	B
	本图中的3列	3
	本图中的B行3列(B3区)	B3
有关联的符号不在同一张图内	具有相同图号的第2张图中的B3区	2/B3
	图号为1235单张图中的B3区	图1235/B3



续表

符号或元件在图中的位置		标记方法
	图号为 1235 的第 2 张图中的 B3 区	图 1235/2/B3
按项目代号确定位置的方式 (如所指项目为 P1 系统)	P1 系统单张图中的 B3 区	P1/B3
	P1 系统的第 2 张图中的 B3 区	P1/2/B3

在某些电路图中,如机床电气控制线路图,由于控制电路内的支路多,且各支路元件布置与功能也不相同,图幅分区可采用图 1-8 (b) 所示的形式。只对图的一个方向分区,分区数不限,各个分区长度也可不等。这种方式不影响分区检索,又可反映用途,有利于看图。

(2) 电路编号法。电路编号法是对图样中的电气元件或分支电路用数字按序编号。若水平布图,数字编号按自上而下的顺序;若垂直布图,数字编号按自左而右的顺序。数字分别写在各支路下端,若要表示元件相关联部分所在位置,只需在元件的符号旁标注相关联部分所处支路的编号即可。

图 1-9 示出了某电路的部分支路,电路从左向右编号。线圈 K1 下标注“12”,说明受线圈 K1 驱动的触点在 12 号支路上;而 12 号支路上触点 K1 下标注“11”,说明驱动本触点的线圈在 11 号支路上,其余可类推。

(3) 表格法。表格法指在图的边缘部分绘制一个按项目代号进行分类的表格。表格中的项目代号和图中相应的图形符号在垂直或水平方向对齐,图形符号旁仍需标注项目代号。图上的各项目与表格中的各项目一一对应。这种位置表示法便于对元件进行归类 and 统计。图 1-10 是两级放大电路,其元件位置就是采用表格法表示的。

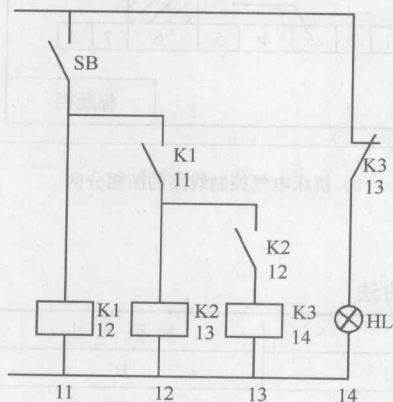


图 1-9 电路编号法

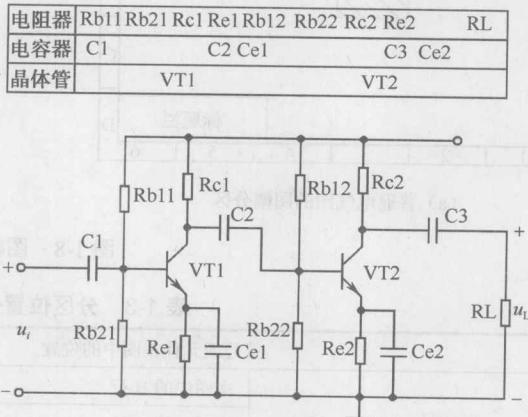


图 1-10 表格法 (两级放大电路)



4. 电路图的基本形式

(1) 集中式电路图：是将一个元件各组成部分的图形符号绘制在一起的方法。习惯上称为电路原理图，如图 1-11 所示，集中表示法仅适用于简单的图。

(2) 分开式电路图：为了便于理解，允许重复某些限定符号，如常见的展开图。分开式电路图将原理图上的控制、保护部分单独取出，按每个设备的作用，把同一动作回路画在一起，这样就会把一个电气设备的线圈和接点分开画在几处，其间没有任何连接符号，只是标上了相同的项目代号，如图 1-12 所示。为了较迅速地查找到同一项目的所有部分，可以采用插图和表格。

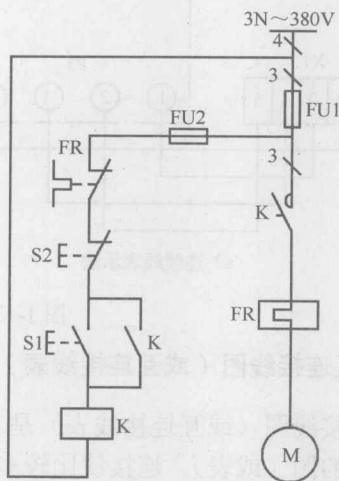
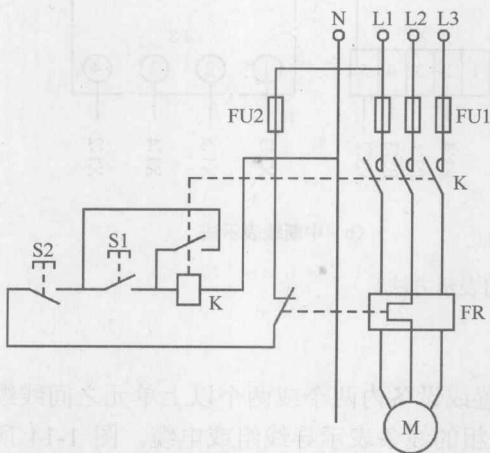


图 1-11 集中式电路图（电动机控制电路原理图）

图 1-12 分开式电路图（电动机控制电路展开图）

1.2.3 接线图（或接线表）

接线图（或接线表）是表示电气设备或成套装置中各元器件之间连接关系的一种简图（或表格）。用来进行安装接线、线路检查、线路维修和故障处理。接线图和接线表只是表达相同内容的两种不同形式，两者的功能完全相同，可以单独使用，也可以组合在一起使用，一般以接线图为主、接线表为辅。

接线图中的元件、器件、部件和成套设备等项目一般采用简化外形符号（如矩形、正方形、圆形）表示，必要时也可用图形符号表示。符号旁边应标注项目代号和端子代号并应与电路图中的标注一致。

在接线图中，端子一般用图形符号和端子代号表示。当用简化外形表示端子所在的项目时，可不画端子符号，仅用端子代号表示。



1. 单元接线图（或单元接线表）

单元接线图（或单元接线表）是表示成套装置或设备中一个结构单元内部各元件间连接情况的图（或表），表示方法有两种。

（1）连续线表示法：端子之间的连接导线用实线表示，如图 1-13（a）所示为某电能表的单元接线图。

（2）中断线表示法：端子之间的连接导线不连线条，而只在每个端子旁标明相连导线对两端子的代号，即采用“对面标号法”来标注端子，如图 1-13（b）所示。

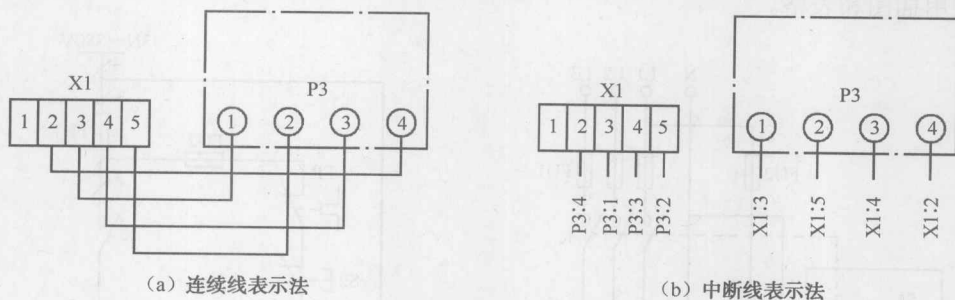


图 1-13 连接导线的表示方法

2. 互连接线图（或互连接线表）

互连接线图（或互连接线表）是表示成套装置或设备内两个或两个以上单元之间线缆连接关系的图（或表）。连接线比较多时，可用加粗的线条表示导线组或电缆。图 1-14 所示为用中断线表示法表示的互连接线图。图中三个项目代号为+A、+B、+C，其内部各有一个端子板，项目代号-X1。项目+A 和+B 间用 107 号电缆相连，+B 和+C 间用 108 号电缆相连，+A-X1 的 3 号和 4 号端子上接有 109 号电缆，该电缆接至+D。对于图 1-14 所示的互连接线图，可用表 1-4 来表示。

表 1-4 互连接线表示例

线缆号	线号	线缆型号规格	连接点 I			连接点 II		
			项目代号	端子号	参考	项目代号	端子号	参考
107	1	3×1.5	+A-X1	1	109.1	+B-X1	2	108.2
	2			2			3	
	3			3			1	108.1
108	1	2×1.5	+B-X1	1	—	+C-X1	1	—
	2			3			2	