目　录

第一部分　电气 CAD

第 1 章　电气图制图规则和表示方法 …… 3

1.1　电气图分类及特点 …… 3

1.2　电气图 CAD 制图规则 …… 9

1.3　电气图基本表示方法 …… 17

1.4　电气图符号的构成和分类 …… 23

1.5　习题 …… 25

第 2 章　AutoCAD 2022 绘图基础 …… 26

2.1　熟悉操作界面 …… 26

2.2　配置绘图系统与文件管理 …… 41

2.3　基本输入操作 …… 47

2.4　图层操作 …… 52

2.5　精确定位工具 …… 58

2.6　图块操作 …… 61

2.7　设计中心 …… 65

2.8　工具选项板 …… 67

2.9　习题 …… 71

第 3 章　二维绘图命令 …… 72

3.1　直线类命令 …… 72

3.2　圆类命令 …… 74

3.3　平面图形类命令 …… 82

3.4　多段线命令 …… 88

3.5　样条曲线命令 …… 90

3.6　习题 …… 93

第 4 章　编辑命令 …… 94
4.1　选择对象 …… 94
4.2　复制类命令 …… 97
4.3　改变位置类命令 …… 112
4.4　改变几何特性类命令 …… 117
4.5　习题 …… 134

第 5 章　电气设计 …… 135
5.1　电力电气设计实例——变电站主接线图 …… 135
5.2　控制电气设计实例——电动机自耦降压启动控制电路 …… 144
5.3　习题 …… 157

第二部分　电子 CAD

第 6 章　电子线路 CAD 与 Altium Designer …… 161
6.1　电子线路设计流程 …… 161
6.2　Altium Designer 概述 …… 162
6.3　Altium Designer 文件管理 …… 165
6.4　习题 …… 172

第 7 章　原理图绘制 …… 173
7.1　原理图的概念及绘制规则 …… 173
7.2　认识 Altium Designer 原理图编辑器 …… 176
7.3　元件库管理 …… 185
7.4　绘制原理图实例 …… 189
7.5　原理图编辑技巧 …… 211
7.6　元件自动编号 …… 217
7.7　习题 …… 221

第 8 章　元件电气图形符号绘制 …… 223
8.1　已有元件电气图形符号的编辑 …… 223
8.2　新元件电气图形符号的创建 …… 234
8.3　项目原理图元件库的创建 …… 246
8.4　添加 PCB 封装模型 …… 247
8.5　习题 …… 250

第 9 章　PCB 封装图绘制 …… 252
9.1　PCB 封装图库文件的创建 …… 252
9.2　绘制 PCB 封装图实例 …… 255
9.3　PCB 封装图库元件的管理与维护 …… 276
9.4　添加 3D 模型 …… 278
9.5　习题 …… 282

第 10 章　印制电路板设计实例 …… 284
10.1　印制电路板的种类及材料 …… 284
10.2　PCB 文件的创建 …… 286
10.3　PCB 编辑器界面与 PCB 面板 …… 292
10.4　PCB 编辑器基本操作 …… 294
10.5　双面板设计实例 …… 310
10.6　习题 …… 342

参考文献 …… 344

第一部分

电气CAD

第 1 章 电气图制图规则和表示方法

虽然在现代电气设计中，应用 AutoCAD 辅助设计是顺理成章的事，但国内专门讲解利用 AutoCAD 进行电气设计的图书较少。本章将介绍电气工程制图的基础知识，包括电气工程图的种类、特点及电气工程 CAD 制图的相关规则，并对电气图的基本表示方法和连接线的表示方法加以说明。

1.1 电气图分类及特点

对于用电设备来说，电气图主要包括主电路图和控制电路图；对于供配电设备来说，电气图主要包括一次回路的电路图和二次回路的电路图。但要表示清楚一项电气工程或一种电气设备的功能、用途、工作原理、安装和使用方法等，光有这几种电路图是不够的。电气图的种类很多，下面介绍几种常用的电气图。

1.1.1 电气图分类

根据各电气图所表示的电气设备、工程内容及表达形式的不同，电气图通常分为以下几类。

1. 系统图或框图

系统图或框图就是用符号或带注释的框来大概地表示系统或分系统的基本组成、相互关系及其主要特征的一种简图。例如，如图 1-1 所示的电动机供电系统图表示了它的供电关系，它的供电过程是三相电源 L1、L2、L3→熔断器 FU→接触器 KM→热继电器热元件 FR→电动机 M。如图 1-2 所示的某变电所供电系统图表示把 10 kV 电压通过变压器变换为 380 V 电压，经断路器 QF，通过 FU-QK1、FU-QK2、FU-QK3 分别供给 3 条支路。系统图或框图常用来表示整个工程或其中某一项目的供电方式和电能输送关系，也可表示某一装置或设备各主要组成部分的关系。

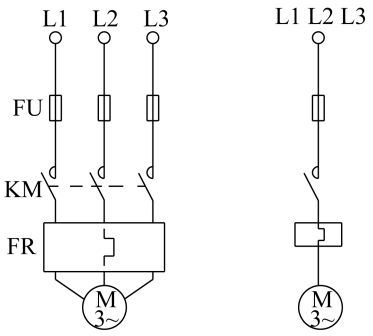


图 1-1　电动机供电系统图

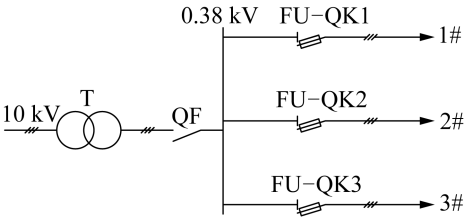


图 1-2　某变电所的供电系统图

2. 电路图

电路图就是按工作顺序用图形符号从上而下、从左到右排列，详细表示电路、设备或成套装置的全部组成和连接关系，而不考虑其实际位置的一种简图。其目的是便于详细了解设备的工作原理，分析和计算电路特性及参数，所以这种图又称为电气原理图或原理接线图。例如，在如图 1-3 所示的磁力启动器电路图中，当按下启动按钮 SB1 时，接触器 KM 的线圈得电，其常开主触点闭合，使电动机得电而启动运行，另一个辅助常开触点 KM 闭合，进行自锁；当按下停止按钮 SB2 或热继电器 FR 动作时，KM 线圈失电，常开主触点 KM 断开，电动机停止。可见它表示了电动机的操作控制原理。

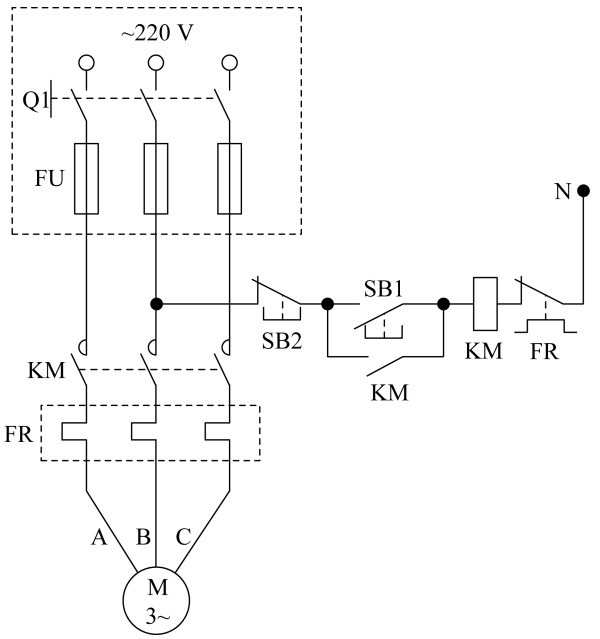


图 1-3　磁力启动器电路图

3. 接线图

接线图主要用于表示电气装置内部元件之间及外部其他装置之间的连接关系，是方便制作、安装及维修人员接线和检查的一种简图或表格。如图 1-4 所示为磁力启动器控制电动机的主电路接线图，它清楚地表示了各元件之间的实际位置和连接关系：电源（L1、L2、L3）由 BX-3×6 的导线接至端子排 X 的 1、2、3 号，然后通过熔断器 FU1～FU3 对接到交流接触器 KM 的主触点，再经过继电器的发热元件接到端子排的 4、5、6 号，最后用导线接入电动机的 U、V、W 端子。当一个装置比较复杂时，接线图又可分解为以下几种。

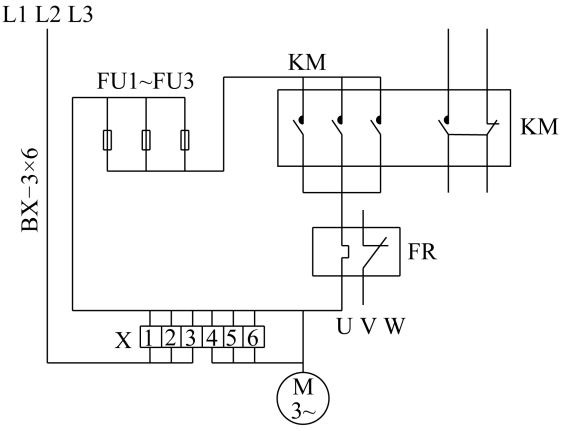


图 1-4 磁力启动器控制电动机的主电路接线图

（1）单元接线图。它是表示成套装置或设备中一个结构单元内各元件之间连接关系的一种接线图。这里所说的结构单元，是指在各种情况下可独立运行的组件或某种组合体，如电动机、开关柜等。

（2）互连接线图。它是表示成套装置或设备不同单元之间连接关系的一种接线图。

（3）端子接线图。它是表示成套装置或设备的端子以及接在端子上外部接线（必要时包括内部接线）的一种接线图，如图 1-5 所示。

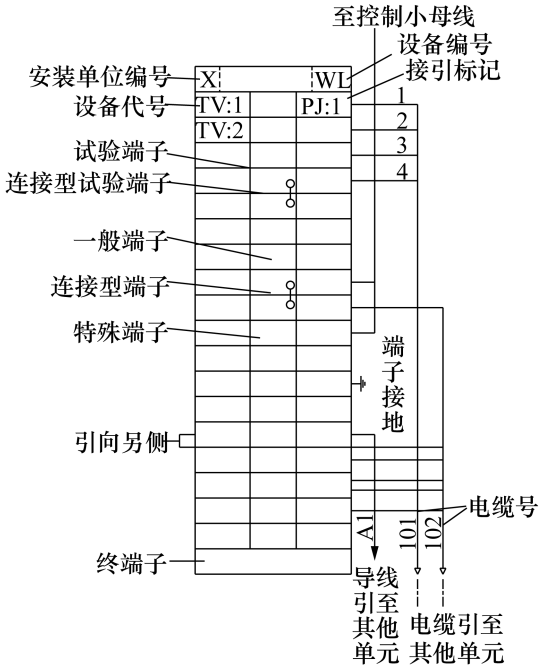


图 1-5 端子接线图

（4）电线电缆配置图。它是表示电线电缆两端位置，必要时还包括电线电缆的功能、特性和路径等信息的一种接线图。

4. 电气平面图

电气平面图是表示电气工程项目的电气设备、装置和线路的一种平面布置图，一般是在建筑平面图的基础上绘制出来的。常见的电气平面图有供电线路平面图、变配电所平面图、电力平面图、照明平面图、弱电系统平面图、防雷与接地平面图等。如图 1-6 所示是某车间的动力电气平面图，它表示了各机床的具体平面位置和供电线路。

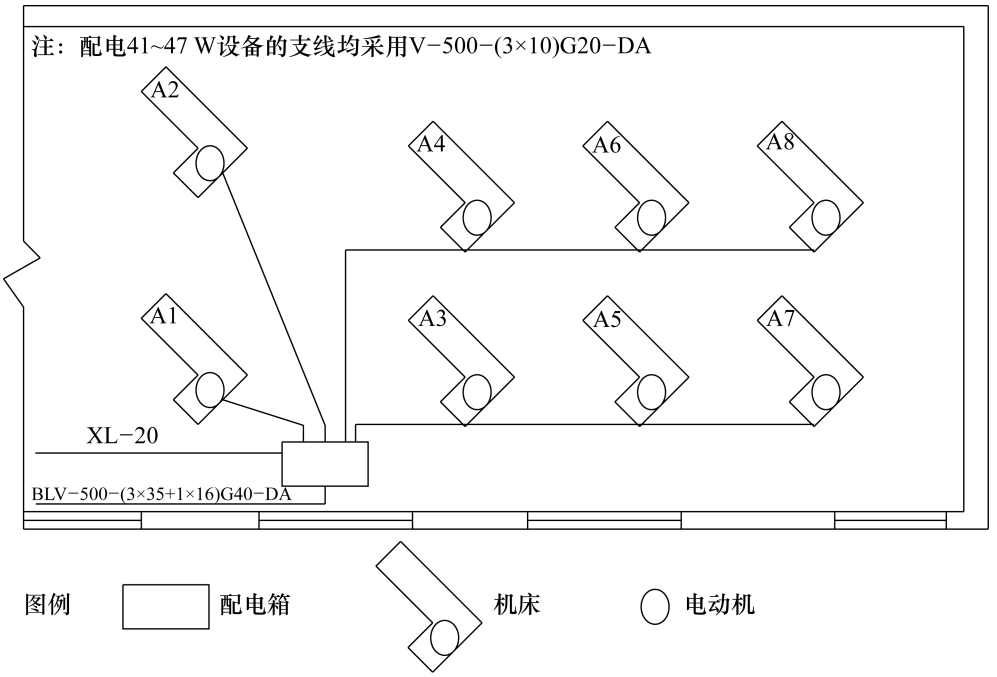


图 1-6　某车间的动力电气平面图

5. 设备布置图

设备布置图表示各种设备和装置的布置形式、安装方式以及相互之间的尺寸关系，通常由平面图、主面图、断面图、剖面图等组成。这种图按三视图原理绘制，与一般机械图没有大的区别。

6. 设备元件表

设备元件表就是把成套装置、设备、装置中的各组成部分和相应数据列成表格，来表示各组成部分的名称、型号、规格和数量等，以便于读图者阅读，了解各元件在装置中的作用和功能。设备元件表是电气图中的重要组成部分，它可置于图中的某一位置，也可单列一页（视元件多少而定）。为了方便书写，通常是从下而上排序。表 1-1 所列是某开关柜的设备元件表。

表 1-1 某开关柜的设备元件表

符号	名称	型号	数量
ISA-351D	微机保护装置	=220 V	1
KS	自动加热除湿控制器	KS-3-2	1
SA	跳、合闸控制开关	LW-Z-la，4，6a，20/F8	1
QC	主令开关	LSl-2	1
QF	自动空气开关	GM31-2PR3，OA	1
FU1、FU2	熔断器	AM1 16/6 A	2
FU3	熔断器	AM1 16/2 A	1
l-2DJR	加热器	DJR-75-220 V	2
HLT	手车开关状态指示器	MGZ-91-1-220 V	1
HLQ	断路器状态指示器	MGZ-91-1-220 V	1
HL	信号灯	AD11-25/41-5G-220 V	1
M	储能电动机	—	1

7. 产品使用说明书上的电气图

生产厂家往往随产品使用说明书附上电气图，供用户了解该产品的组成、工作过程及注意事项，以达到正确使用、维护和检修产品的目的。

8. 其他电气图

上述电气图是常用的主要电气图，但对于较为复杂的成套装置或设备，为了便于制造，还有局部的大样图、印制电路板图等。而为了装置的技术保密，往往只对外给出装置或系统的功能图、流程图、逻辑图等。

电气图种类很多，但这并不意味着所有的电气设备和装置都应具备这些图纸。根据表达的对象、目的和用途不同，所需电气图的种类和数量也不一样。对于简单的装置，可把电路图和接线图合二为一；对于复杂的装置或设备，应将其分解为几个系统，每个系统可以有以上各种类型的图。总之，电气图作为一种工程语言，在表达清楚的前提下，越简单越好。

1.1.2 电气图特点

电气图与其他工程图有着本质的区别，它用于表示系统或装置中的电气关系，所以具有其独特的一面。其特点主要表现在以下几个方面。

1. 清楚

电气图是用图形符号、连线或简化外形来表示系统或设备中各组成部分之间相互电气关系及其连接关系的一种简图。如图 1-7 所示为某变电所的电气图，将 10 kV 电压变换为 0.38 kV 低压，分配给 4 条支路，用文字和符号表示，并给出了变电所各设备的名称、功

能、电流方向及各设备间的连接关系和相互位置关系，但没有给出具体的位置和尺寸。

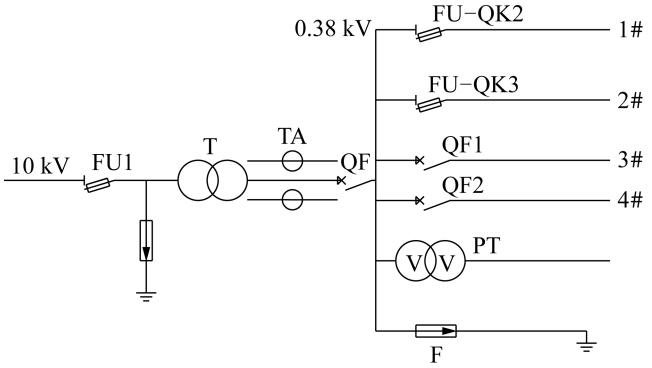


图 1-7　某变电所电气图

2. 简洁

电气图是采用电气元件或设备的图形符号、文字符号和连线来表示的，没有必要画出电气元件的外形结构。所以，对于系统构成、功能及电气接线等，通常都采用图形符号、文字符号来表示。

3. 独特性

电气图主要用于表示成套装置或设备中各元件之间的电气连接关系，不论是说明电气设备工作原理的电路图、说明供电关系的电气系统图，还是表明安装位置和接线关系的平面图和连线图等，都表达了各元件之间的连接关系，如图 1-1 至图 1-4 所示。

4. 布局

电气图的布局依图所表达的内容而定。电路图、系统图是按功能布局，只考虑便于看出元件之间的功能关系，而不考虑元件的实际位置。要突出设备的工作原理和操作过程，应按照元件的动作顺序和功能应用，从上而下、从左到右布局。而对于接线图和平面布置图，则要考虑元件的实际位置，所以应按位置布局，如图 1-4 和图 1-6 所示。

5. 多样性

对系统的元件和连接线描述方法的不同，构成了电气图的多样性，如元件可采用集中表示法、半集中表示法和分散表示法表示，连线可采用多线表示、单线表示和混合表示。同时，一个电气系统中各种电气设备和装置之间，从不同角度、不同侧面去考虑，存在不同的关系。例如，在如图 1-1 所示的电动机供电系统图中，就存在着不同的关系。

（1）电能通过 FU、KM、FR 送到电动机 M，它们存在能量传递关系，如图 1-8 所示。

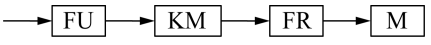


图 1-8　能量传递关系

（2）从逻辑关系上，只有当 FU、KM 和 FR 都正常时，M 才能得到电能，所以它们之间存在“与”的关系：M = FU · KM · FR。即只有 FU 正常为“1”、KM 合上为“1”、FR 没有烧断为“1”时，M 才能为“1”，表示可得到电能。其逻辑图如图 1-9 所示。

（3）从保护角度表示，FU 用于短路保护。当电路电流突然增大发生短路时，FU 烧断，使电动机失电。它们就存在信息传递关系，可用图 1-10 表示：电流输入 FU，FU 输出烧断或不烧断，取决于电流的大小。

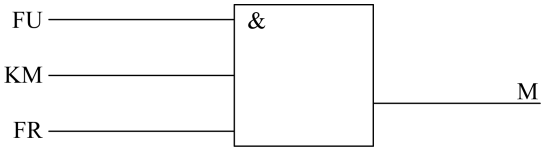


图 1-9 逻辑图

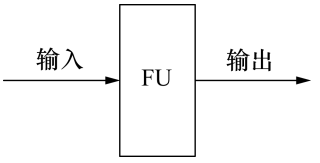


图 1-10 FU 的信息传递图

1.2 电气图 CAD 制图规则

电气图是一种特殊的专业技术图，除了必须遵守《电气技术用文件的编制 第一部分：规则》（GB/T 6988.1—2008）、《电气简图用图形符号》（GB/T 4728—2018）的标准，还要严格遵守机械制图、建筑制图等方面的有关规定。由于相关标准或规则很多，这里只简单介绍跟电气制图有关的规定和标准。

1.2.1 图纸格式和幅面尺寸

1. 图纸格式

电气图图纸的格式和机械图图纸、建筑图图纸的格式基本相同，通常由边框线、图框线、标题栏、会签栏等组成，其格式有图 1-11 所示的两种。

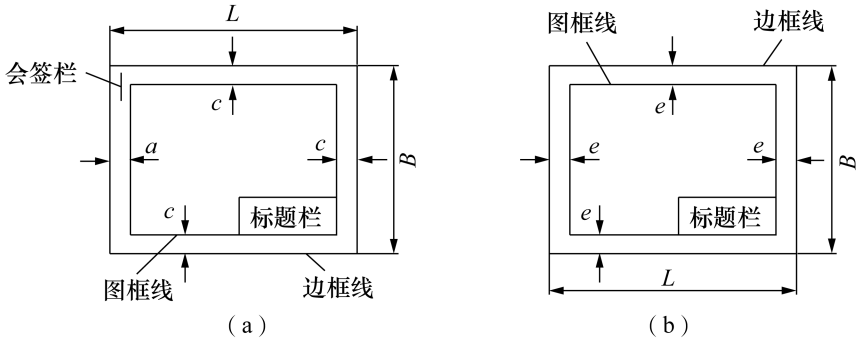


图 1-11 电气图图纸格式

图中的标题栏相当于一个设备的铭牌，标示着这张图纸的名称、图号、张次、制图者、审核者等，其一般格式如图 1-12 所示。标题栏通常放在图纸的右下角，也可放在其他位置，但必须在本张图纸上，而且标题栏的文字方向必须与看图方向一致。会签栏是留给相关的建筑、工艺等专业设计人员在会审图纸时签名用的。

<table>
<tr><td>单位徽标</td><td colspan="6">（单位名称）</td></tr>
<tr><td>核定</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2" rowspan="2">工程</td><td>设计</td></tr>
<tr><td>审核</td><td></td><td></td><td></td><td>部分</td></tr>
<tr><td>审查</td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3" rowspan="4">（图名）</td></tr>
<tr><td>校核</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>设计</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>制图</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>发证单位</td><td colspan="2"></td><td>比例</td><td></td><td>日期</td><td></td></tr>
<tr><td>设计证号</td><td colspan="2"></td><td>图号</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

图 1-12　标题栏的一般格式

2. 幅面尺寸

由边框线围成的图画称为图纸的幅面。幅面大小共分 5 类：A0、A1、A2、A3、A4，其尺寸见表 1-2 所列。根据需要可对 A3、A4 图纸加长，加长幅面尺寸见表 1-3 所列。

表 1-2　基本幅面尺寸　　单位：mm

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

表 1-3　加长幅面尺寸　　单位：mm

序号	代号	尺寸
1	A3×3	420×891
2	A3×4	420×1189
3	A4×3	297×630
4	A4×4	297×841
5	A4×5	297×1051

当表 1-2 和表 1-3 所列的幅面系列还不能满足需要时，则可按《技术制图　图纸幅面和格式》（GB/T 14689—2008）的规定，选用其他加长幅面的图纸。

1.2.2　图幅分区

在实际绘图时，应对一些幅面较大、内容复杂的电气图进行分区。图幅分区的方法是

将图纸相互垂直的两边各自加以等分，每一分区的长度为 25～75 mm。分区数为偶数，分区线用细实线，每个分区内竖边方向用大写英文字母编号，横边方向用阿拉伯数字编号，编号顺序应从标题栏相对的图纸的左上角开始。

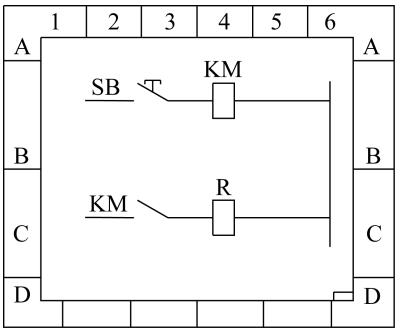


图 1-13 图幅分区例图

图幅分区后，相当于建立了一个坐标，分区代号用该区域的字母和数字表示，字母在前，数字在后，如 B3、C4，也可用行（如 A、B）或列（如 1、2）表示。这样，在说明设备工作元件时，读者就可以很方便地找出所指元件。

在如图 1-13 所示的图纸中，将图幅分成了 4 行（A～D）和 6 列（1～6）。图幅内所绘制的元件 KM、SB、R 在图上的位置被唯一确定下来了，其位置代号见表 1-4 所列。

表 1-4 图上元件的位置代号

序号	元件名称	符号	行号	列号	区号
1	继电器线圈	KM	B	4	B4
2	继电器触点	KM	C	2	C2
3	开关（按钮）	SB	B	2	B2
4	电阻器	R	C	4	C4

1.2.3 图线、字体及其他元素

1. 图线

电气图中所用的各种线条均称为图线。机械制图规定了 8 种基本图线，即粗实线、细实线、波浪线、双折线、虚线、细点划线、粗点划线和双点划线，并分别用代号 A、B、C、D、F、G、J 和 K 表示，见表 1-5 所列。

表 1-5 图线及其应用

序号	图线名称	线型	代号	图线宽度/mm	一般应用
1	粗实线		A	$b=0.5\sim2$	可见轮廓线，可见过渡线
2	细实线		B	约 $b/3$	尺寸线和尺寸界线，剖面线，重合剖面轮廓线，螺纹的牙底线及齿轮的齿根线，引出线，分界线及范围线，弯折线，辅助线，不连续同一表面的连线，成规律分布的相同要素的连线

续表

序号	图线名称	线型	代号	图线宽度/mm	一般应用
3	波浪线		C	约 $b/3$	断裂处的边界线，视图与剖视的分线
4	双折线		D	约 $b/3$	断裂处的边界线
5	虚线		F	约 $b/3$	不可见轮廓线，不可见过渡线
6	细点划线		G	约 $b/3$	轴线，对称中心线，轨迹线，节圆及节线
7	粗点划线		J	b	有特殊要求的线或表面的表示线
8	双点划线		K	约 $b/3$	相邻辅助零件的轮廓线，极限位置的轮廓线，坯料轮廓线或毛坯图中制成品的轮廓线，假想投影轮廓线，试验或工艺用结构（成品上不存在）的轮廓线，中断线

2. 字体

电气图中的文字，如汉字、字母和数字，是电气图的重要组成部分，也是读图时的重要内容。按照规定，汉字采用长仿宋体，字母、数字可用直体、斜体；字体号数，即字体高度（单位为 mm）分为 20、14、10、7、5、3.5 和 2.5 等 7 种，字体的宽度约等于字体高度的 2/3，而数字和字母的笔画宽度约为字体高度的 1/10。因汉字笔画较多，所以不宜用 2.5 号字。

3. 箭头和指引线

电气图中有两种形式的箭头：一是开口箭头，表示电气连接上能量或信号的流向，如图 1-14（a）所示；二是实心箭头，表示力、运动、可变性方向，如图 1-14（b）所示。

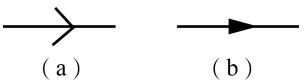


图 1-14　箭头

指引线用于指示注释的对象，其一端指向被注释处，并在末端加注标记：若指在轮廓线内，则用一黑点表示，如图 1-15（a）所示；若指在轮廓线上，则用一箭头表示，如图1-15（b）所示；若指在电气线路上，用一短线表示，如图 1-15（c）所示，图中指明导线横截面积分别为 3×10 mm^2 和 2×2.5 mm^2。

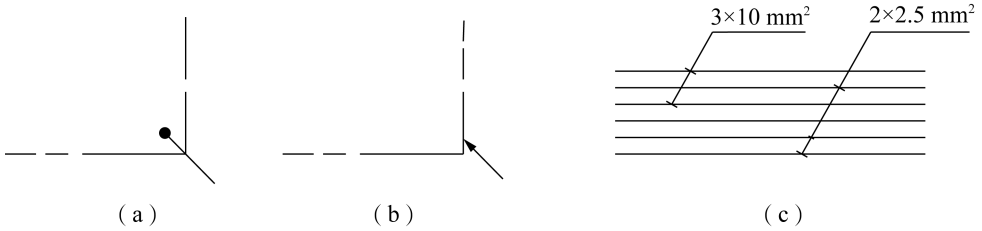


图 1-15　指引线

4. 围框

当需要在图上显示其中的一部分所表示的是功能单元、结构单元或项目组（电器组、继电器装置）时，可以用点划线围框表示。为了使图面清楚，围框的形状可以是不规则的，如图 1-16 所示。图中的围框内有两个继电器，每个继电器分别有 3 对触点，用一个围框表示继电器 KM1、KM2 的作用关系会更加清楚，且具有互锁和自锁功能。

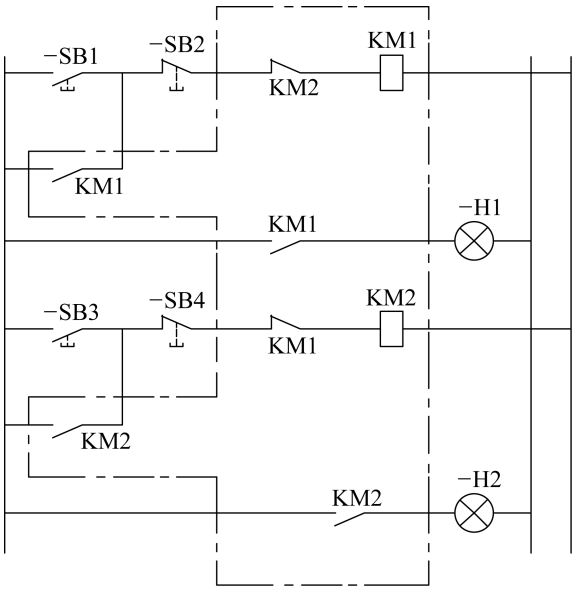
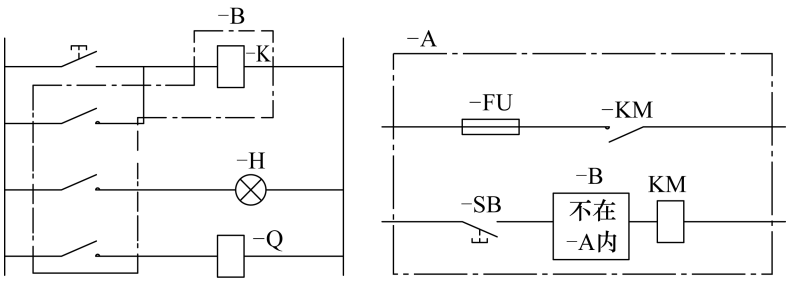


图 1-16　不规则围框

当用围框表示一个单元时，若在围框内给出了可在其他图纸或文件上查阅更详细资料的标记，则其内部的电路等可用简化形式表示或省略。如果在表示一个单元的围框内的图上含有不属于该单元的元件符号时，则必须对这些符号添加围框并加注代号或注解。如图 1-17 所示，-A 单元内包含有熔断器 FU、按钮 SB、接触器 KM 和功能单元-B 等，它们在一个框内；而-B 单元在功能上与-A 单元有关，但不装在-A 单元内，所以用点划线围框围起来，并加以注释，表明-B 单元在图 1-17（a）中给出了详细资料，这里将其内部连线省略。但应注意，在采用围框表示时，围框线不应与元件符号相交。



（a）　　（b）

图 1-17　含点划线的围框

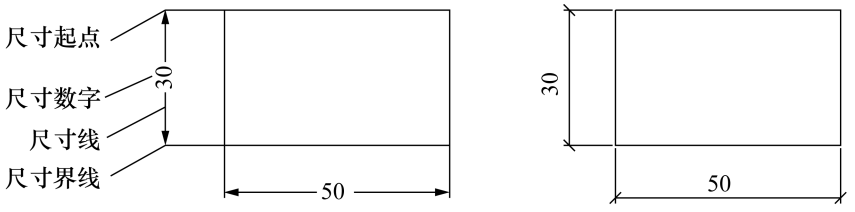
5. 比例

电气图上所画的图形符号大小与物体实际大小的比值，称为比例。大部分电气线路图都不是按比例绘制的，但位置平面图等则按比例绘制或部分按比例绘制，这样在平面图上测出的两点距离就可按比例值计算出两者间的实际距离（如线长度、设备间距等），这对导线的放线以及设备机座、控制设备等的安装都有利。

电气图采用的比例一般有：1∶10、1∶20、1∶50、1∶100、1∶200、1∶500。

6. 尺寸标注

尺寸数据是电气工程施工和构件加工时的重要依据。尺寸由尺寸线、尺寸界线、尺寸起止点（实心箭头或45°斜短线）和尺寸数字4个要素组成，如图1-18所示。图纸上的尺寸通常以毫米（mm）为单位，除特殊情况外，图上一般不标注单位。



（a）用箭头线　　（b）用斜短线

图1-18　尺寸标注例图

7. 建筑电气平面图专用标志

在电力、电气照明平面布置和线路铺设等建筑电气平面图上，往往画有一些专用的标志，以提示建筑物的位置、方向、风向、标高、高程、结构等。这些标志对电气设备安装、线路铺设有重要作用，了解了这些标志的含义，对阅读电气图十分有利。

（1）方位。建筑电气平面图一般按“上北下南，左西右东”表示建筑物的方位，但在许多情况下，都是用方位标记表示其朝向。方位标记如图1-19所示，其箭头方向表示正北方向（N）。

（2）风向频率标记。它是根据这一地区多年统计出的各方向刮风次数的平均百分值，按一定比例绘制而成的，如图1-20所示。它像一朵玫瑰花，故又被称为风向玫瑰图，其中实线表示全年的风向频率，虚线表示夏季（6—8月）的风向频率。由图1-20可见，该地区常年以西北风为主，夏季以西北风和东南风为主。

（3）标高。标高分为绝对标高和相对标高两种。绝对标高又称海拔高度，我国是以青岛市外黄海平面作为零点来确定标高尺寸的。相对标高是选定某一参考面或参考点为零点来确定高度尺寸的。建筑电气平面图均采用相对标高，它一般采用室外某一平面或某层楼平面作为零点来确定标高，这一标高又称为安装标高或敷设标高，其符号及标高尺寸示例如图1-21所示。其中，左图用于室内平面图和剖面图，标注的数字表示高出室内平面某一确定的参考点2.50 m；右图用于总平面图上的室外地面，其数字表示高出地面6.10 m。

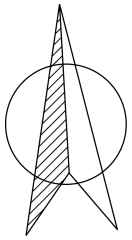


图 1-19 方位标记

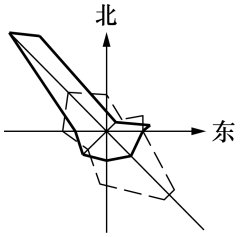


图 1-20 风向频率标记

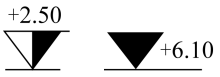


图 1-21 安装标高例图

（4）建筑物定位轴线。定位轴线一般都是根据载重墙、柱、梁等主要载重构件的位置所画的轴线。定位轴线编号的方法是：在水平方向，从左到右用数字编号；在垂直方向，由下而上用字母（易造成混淆的 I、O、Z 不用）编号；数字和字母分别用点划线引出。如图1-22所示，其轴线分别为 A、B、C 和 1、2、3、4、5。

有了这个定位轴线，就可确定图上所画的设备的位置，计算出电气管线的长度，便于下料和施工。

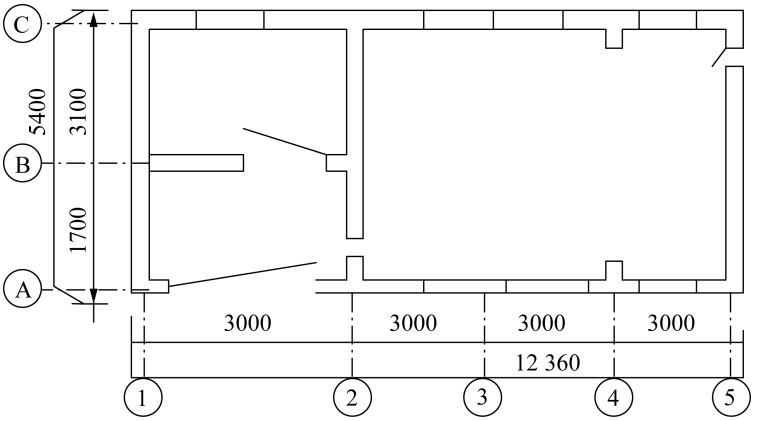


图 1-22 定位轴线标注方法例图

8. 注释和详图

（1）注释。用图形符号表达不清楚或不便表达的地方，可在图上加注释。注释可采用两种方式：一是直接放在所要说明的对象附近；二是加标记，将注释放在其他位置或另一页。当图中出现多个注释时，应把这些注释按编号顺序放在图纸边框附近。如果是多张图纸，一般将注释放在第一张图上，其他注释则放在与其内容相关的图上。注释一般采用文字、图形、表格等形式，其目的就是把对象表达清楚。

（2）详图。详图实质上是用图形来注释。这相当于机械图中的剖面图，就是把电气装置中某些零部件和连接点等的结构、做法及安装工艺要求放大并详细表示出来。详图既可放在要详细表示对象的图上，也可放在另一张图上，但必须用一个标志将它们联系起来。标注在总图上的标志称为详图索引标志，标注在详图上的标志称为详图标志。例如，

11号图上的1号详图在18号图上，则11号图上的索引标志为“1/18”，18号图上的标注为“1/11”，即采用相对标注法。

1.2.4　电气图布局方法

电气图的布局应从有利于对图的理解的角度出发，做到布局突出图的本意、结构合理、排列均匀、图面清晰、便于读图。

1. 图线布局

电气图的图线一般用于表示导线、信号通路、连接线等，要求用直线，即横平竖直，尽可能减少交叉和弯折。图线的布局方法有水平布局和垂直布局两种。

（1）水平布局。水平布局是将元件和设备按行布置，使其连接线水平布置，如图1-23所示。

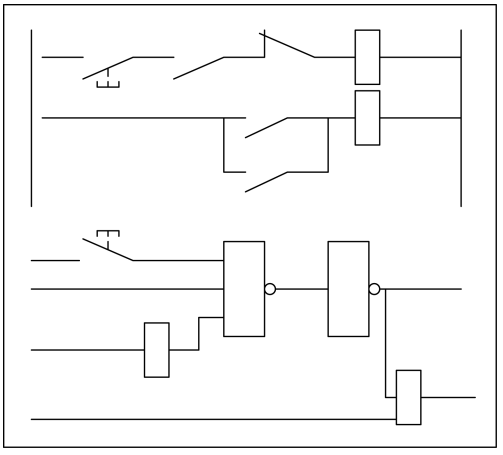


图1-23　图线水平布局例图

（2）垂直布局。垂直布局是将元件和设备按列布置，使其连接线竖直布置，如图1-24所示。

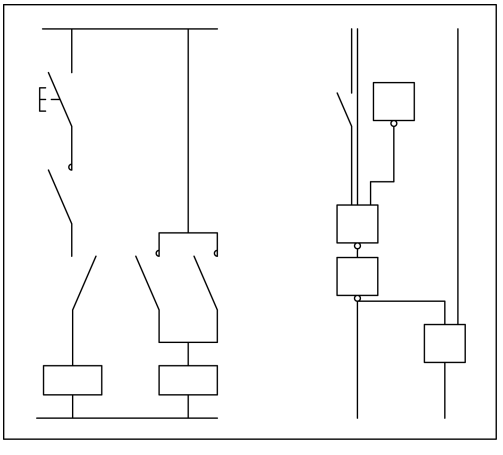


图1-24　图线垂直布局例图

2. 元件布局

元件在电路中的排列一般是按因果关系和动作顺序从左到右、由上至下布置的，看图时也要按这一排列规律来分析。例如，如图 1-25 所示是水平布局，应从左向右分析，SB1、FR、KM 都处于常闭状态，KT 线圈才能得电，经延时后，KT 的常开触点闭合，KM 得电。不按这一规律来分析，就不易看懂这个电路图的动作过程。

如果在接线图或布局图等图中，按实际元件位置来布局，这样能便于看出各元件间的相对位置和导线走向。例如，如图 1-26 所示的是某两个单元的接线图，它表示了两个单元的相对位置和导线走向。

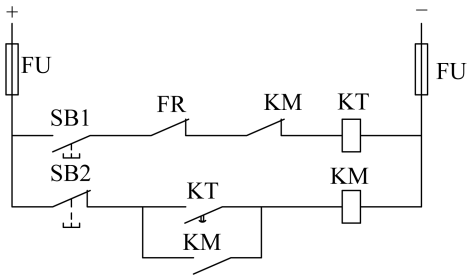


图 1-25 元件布局例图

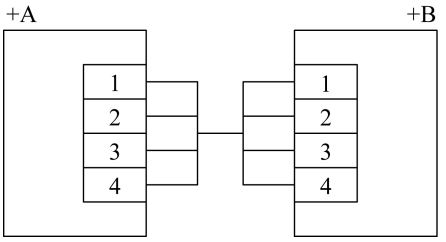


图 1-26 两单元按位置布局例图

1.3 电气图基本表示方法

1.3.1 线路的表示方法

电气图线路的表示方法通常有多线表示法、单线表示法和混合表示法 3 种。

1. 多线表示法

在电气图中，电气设备的每根连接线或导线各用一条图线表示的方法，称为多线表示法。如图 1-27 所示的是一个具有正反转功能的电动机主电路，多线表示法能比较清楚地表示电路的工作原理，但图线太多。对于比较复杂的设备，交叉就多，反而阻碍看懂图。多线表示法一般用于表示各相或各线内容不对称，以及要详细表示各相和各线的具体连接方法的场合。

2. 单线表示法

在电气图中，电气设备的两根或两根以上的连接线或导线，只用一根线表示的方法，称为单线表示法。如图 1-28 所示的是用单线表示的具有正反转功能的电动机主电路图，这种表示法主要适用于三相电路或各线基本对称的电路图。对于不对称的部分，在图中注释，例如图 1-28 中热继电器是两相的，图中标注了“2”。

3. 混合表示法

在一个图中，一部分采用单线表示法，另一部分采用多线表示法的线路表示方法，称为混合表示法。如图 1-29 所示，为了表示三相绕组的连接情况，用了多线表示法；为了说明两相热继电器，也用了多线表示法；其余的断路器 QF、熔断器 FU、接触器 KM1 都是三相对称的，采用了单线表示法。混合表示法既有单线表示法简洁精练的优点，又有多线表示法描述精确、充分的优点。

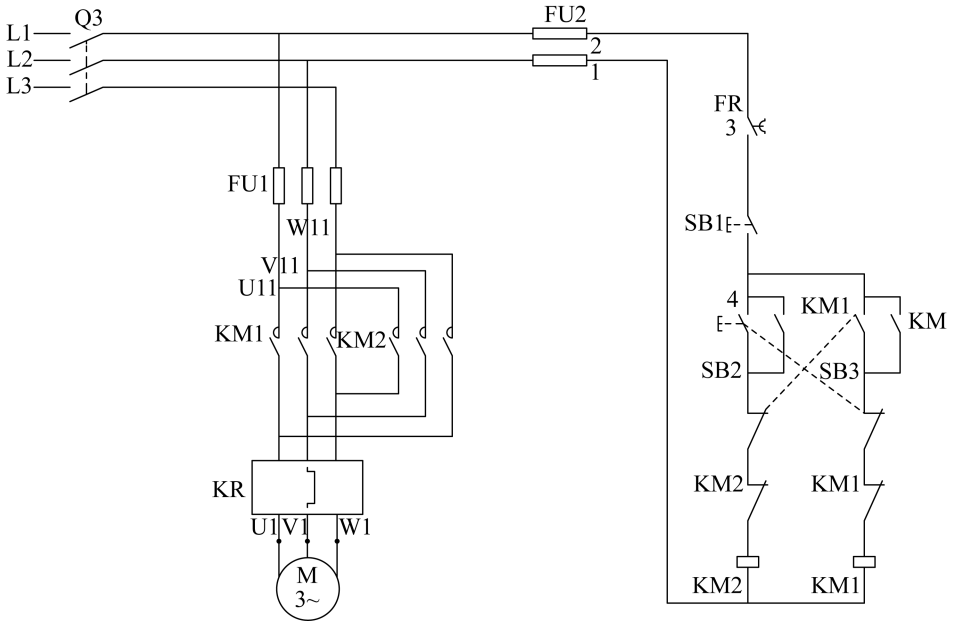


图 1-27　多线表示法例图

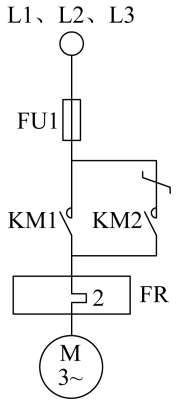


图 1-28　单线表示法例图

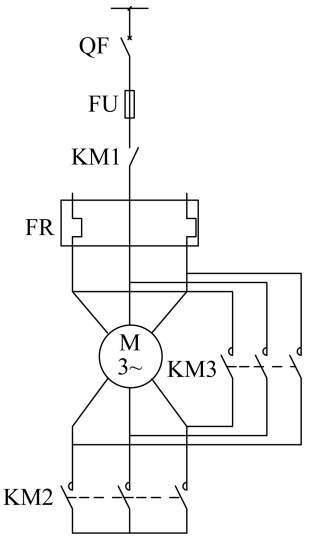


图 1-29　Y-△切换主电路的混合表示

1.3.2 电气元件的表示方法

电气元件在电气图中通常采用图形符号来表示，绘出其电气连接，在符号旁标注项目代号（文字符号），必要时还标注有关的技术数据。一个元件在电气图中的表示方法有集中表示法、半集中表示法和分开表示法 3 种。

1. 集中表示法

把设备或成套装置中一个项目各组成部分的图形符号在简图上绘制在一起的方法，称为集中表示法。在集中表示法中，各组成部分用机械连接线（虚线）互相连接起来，连接线必须是一条直线。可见这种表示法只适用于简单的电路图。如图 1-30 所示是两个项目，继电器 KA 有一个线圈和一对触点，接触器 KM 有一个线圈和 3 对触头，它们分别用机械连接线联系起来构成一体。

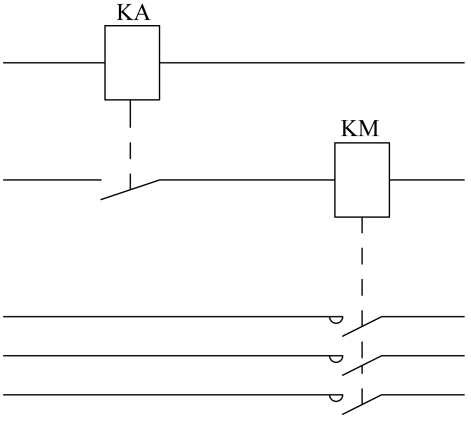


图 1-30 集中表示法例图

2. 半集中表示法

把一个项目中某些部分的图形符号在简图中分开布置，并用机械连接线把它们连接起来的方法，称为半集中表示法。例如，图 1-31 中的 KM 具有一个线圈、3 对主触头和一对辅助触头。在半集中表示中，机械连接线可以弯折、分支和交叉。

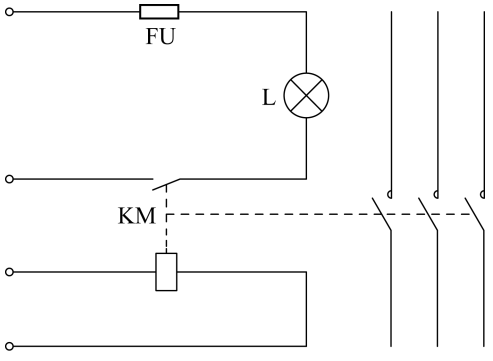


图 1-31 半集中表示法例图

3. 分开表示法

把一个项目中某些部分的图形符号在简图中分开布置，并使用项目代号（文字符号）表示它们之间关系的方法，称为分开表示法。分开表示法也称为展开法。若图 1-31 采用分开表示法表示，结果如图 1-32 所示。从图中可见，分开表示法只要把半集中表示法中的机械连接线去掉，在同一个项目图形符号上标注同样的项目代号就行了。这样，图中的点划线就少，图面更简洁，但是在看图时，要寻找各组成部分比较困难，必须纵观全局，把同一项目的图形符号在图中全部找出，否则就可能会遗漏。为了看清元件、器件和设备各组成部分，便于寻找其在图中的位置，可将分开表示法与半集中表示法结合起来识读，或者采用插图、表格表示各部分的位置。

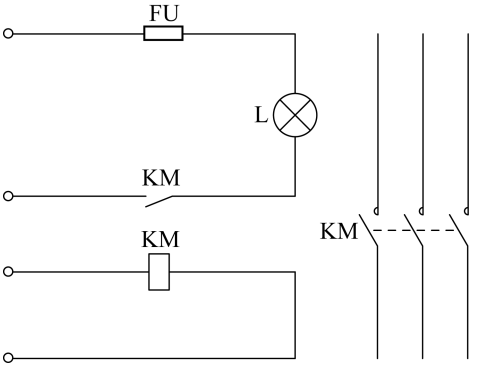


图 1-32　分开表示法例图

4. 项目代号的标注方法

采用集中表示法和半集中表示法绘制元件时，其项目代号只在图形符号旁标出，并与机械连接线对齐，如图 1-31 中的 KM。

采用分开表示法绘制元件时，其项目代号应在项目的每一部分自身符号旁标注，如图 1-32 所示。必要时，对同一项目的同类部件（如各辅助开关、触点）可加注序号。

标注项目代号时应注意以下几个方面。

（1）项目代号的标注位置尽量靠近图形符号。

（2）图线水平布局的图，项目代号应标注在符号上方；图线垂直布局的图，项目代号应标注在符号的左方。

（3）项目代号中的端子代号应标注在端子位置的旁边。

（4）围框的项目代号应标注在其上方或右方。

1.3.3　连接线的表示方法

1. 导线的一般表示方法

在电气图中，各元件之间采用导线连接，起到传输电能、传递信息的作用，所以读图者应了解它的表示方法。

一般的图线就可表示单根导线。对于多根导线，可以分别画出，也可以只画一根图线，但须加标志。若导线少于4根，可用短划线数量代表根数；若多于4根，可在短划线旁加数字表示，如图1-33（a）所示。表示导线特征的方法是：在横线上面标出电流种类、配电系统、频率和电压等，在横线下面标出电路的导线数乘以每根导线截面积（mm^2），当导线的截面不同时，可用“+”将其分开，如图1-33（b）所示。

要表示导线的型号、截面、安装方法等，可采用短划指引线，标注导线属性和敷设方法。如图1-33（c）所示，表示导线的型号为BLV（铝芯塑料绝缘线），其中3根导线截面积为25 mm^2，1根导线截面积为16 mm^2，敷设方法为穿入塑料管（VG），塑料管管径为40 mm，沿地板暗敷。

要表示电路相序的变换、极性的反向、导线的交换等，可采用交换号表示，如图1-33（d）所示。

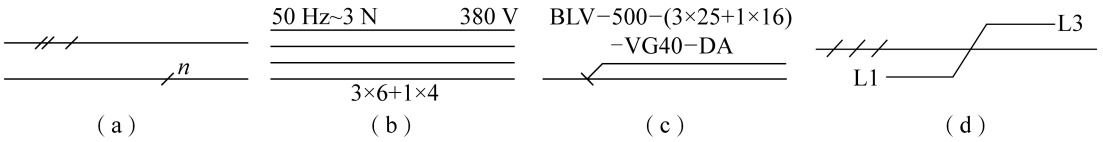


图1-33 导线的一般表示方法

2. 图线的粗细

一般而言，电源主电路、一次电路、主信号通路等采用粗实线表示，控制回路、二次回路等采用细实线表示。

3. 连接线分组和标记

为了方便看图，对多根平行连接线，应按功能分组。若不能按功能分组，可任意分组，但每组不多于3条，组间距应大于线间距。为了便于看出连接线的功能或去向，可在连接线上方或连接线中断处做信号名标记或其他标记，如图1-34所示。

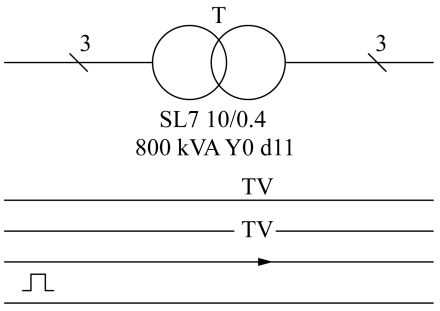


图1-34 连接线标志例图

4. 导线连接点的表示

导线的连接点有T形连接点和多线的十字形连接点。对于T形连接点可加实心圆点，也可不加实心圆点，如图1-35（a）所示；对于十字形连接点，必须加实心圆点，如图1-35（b）所示；而交叉不连接的，不能加实心圆点，如图1-35（c）所示。

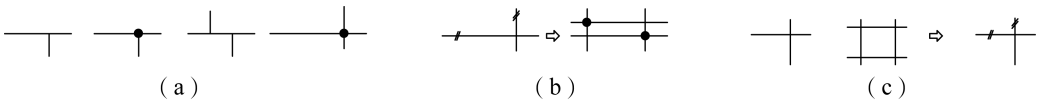


图 1-35　导线连接点表示例图

5. 连接线连续表示法及其标志

连接线可用多线或单线表示，这样可以避免线条太多，以保持图面的清晰。对于多条去向相同的连接线，常采用单线表示法表示，如图 1-36 所示。

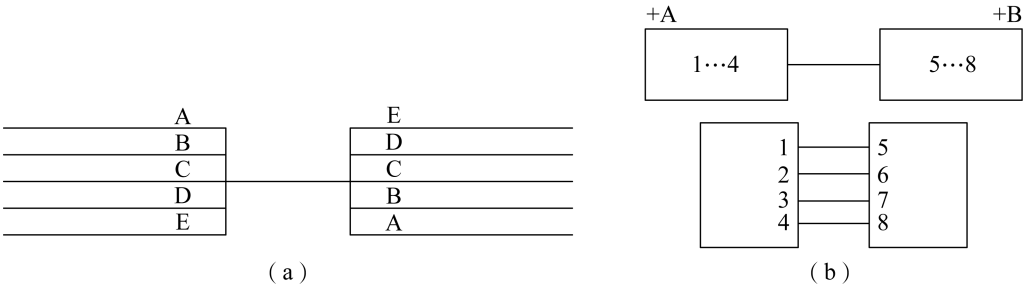


图 1-36　连接线表示法

当导线汇入用单线表示的一组平行连接线时，在汇入处应折向导线走向，而且每根导线两端应采用相同的标记号，如图 1-37 所示。

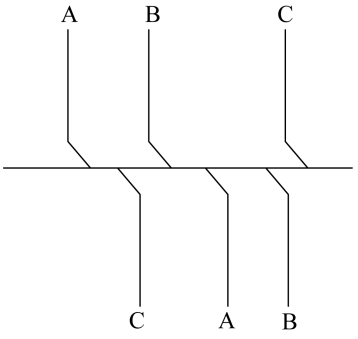


图 1-37　汇入导线表示法

6. 连接线中断表示法及其标志

为了简化线路图或使多张图采用相同的连接表示方法，连接线一般采用中断表示法。

在同一张图中断处的两端给出相同的标记号，并给出导线连接线去向的箭号，如图 1-38中的 G 标记号。对于不同的图，应在中断处采用相对标记法，即中断处标记名相同，并标注“图序号/图区位置”，如图 1-38 所示。图中断点 L 标记名，在第 20 号图纸上标有“L3/C4”，表示 L 中断处与第 3 号图纸 C 行 4 列处的 L 断点连接；而在第 3 号图纸上标有“L20/A4”，表示 L 中断处与第 20 号图纸 A 行 4 列处的 L 断点相连。

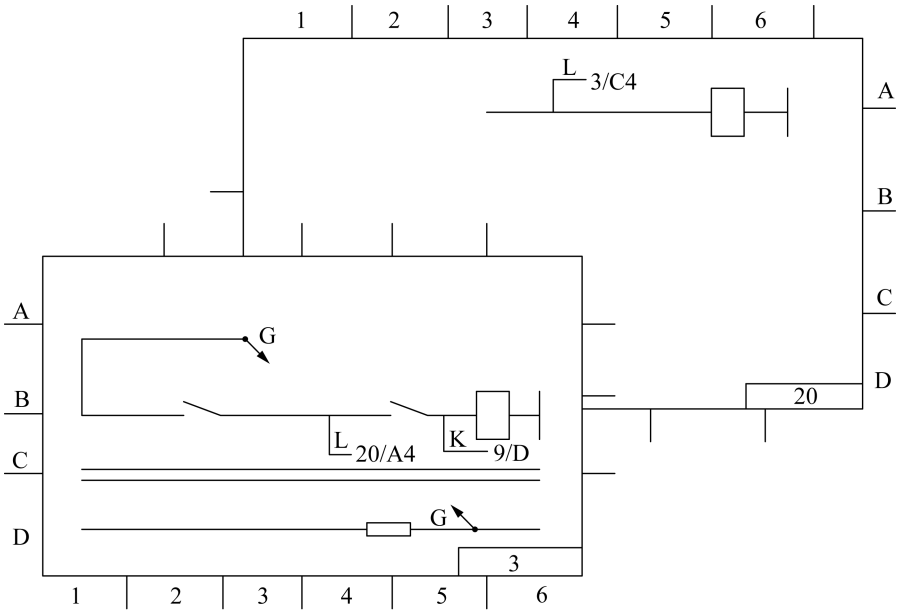


图 1-38 中断面表示法及其标志

对于接线图，中断表示法的标注采用相对标注法，即在本元件的出线端标注其连接的对方元件的端子号。如图 1-39 所示，PJ 元件的 1 号端子与 CT 元件的 2 号端子相连接，而 PJ 元件的 2 号端子与 CT 元件的 1 号端子相连接。

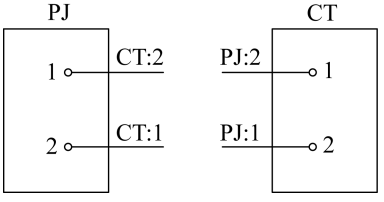


图 1-39 中断表示法的相对标注

1.4 电气图符号的构成和分类

在按简图形式绘制的电气图中，元件、设备、线路及其安装方法等都是借用图形符号、文字符号和项目代号来表达的。分析电气图，首先要明白这些符号的形式、内容、含义以及它们之间的相互关系。

1.4.1 电气图符号的构成

电气图符号包括一般符号、符号要素、限定符号和方框符号。

1. 一般符号

一般符号是用来表示一类产品或此类产品特征的简单符号，如电阻、电容、电感等，如图 1-40 所示。

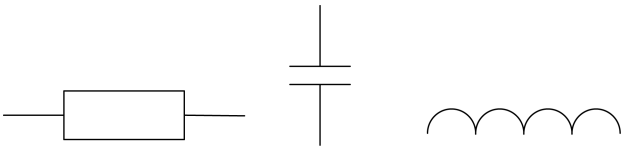


图 1-40　电阻、电容、电感符号

2. 符号要素

符号要素是一种具有确定意义的简单图形，必须同其他图形组成组合构成一个设备或概念的符号。例如，真空二极管是由外壳、阴极、阳极和灯丝 4 个符号要素组成的。符号要素一般不能单独使用，只有按照一定方式组合起来才能构成完整的符号。符号要素的不同组合可以构成不同的符号。

3. 限定符号

用以提供附加信息的、加在其他符号上的符号，称为限定符号。限定符号一般不代表独立的设备、器件和元件，仅用来说明某些特征、功能和作用等。限定符号一般不单独使用，当一般符号加上不同的限定符号时，可得到不同的专用符号。例如，在开关的一般符号上加上不同的限定符号，可分别得到隔离开关、断路器、接触器、按钮开关、转换开关等。

4. 方框符号

方框符号是用来表示元件、设备等的组合及其功能，既不给出元件、设备的细节，也不考虑所有这些连接的一种简单图形符号。方框符号在系统图和框图中使用得最多，电路图中的外购件、不可修理件也可用方框符号表示。

1.4.2　电气图形符号的分类

《电气简图用图形符号》（GB/T 4728—2018）采用国际电工委员会（IEC）标准，在国际上具有通用性，有利于对外技术交流。该标准分为 13 个部分。

（1）一般要求。此部分有该标准的内容提要、名词术语、符号的绘制、编号使用及其他规定。

（2）符号要素、限定符号和其他常用符号。此部分内容包括轮廓和外壳、电流和电压的种类、可变性、力或运动的方向、流动方向、材料的类型、效应或相关性、辐射、信号波形、机械控制、操作件和操作方法、非电量控制、接地、接机壳和等电位、理想电路元件等。

（3）导体和连接件。此部分内容包括电线、屏蔽或绞合导线、同轴电缆、端子与导线连接、插头和插座、电缆终端头等。

（4）基本无源元件。此部分内容包括电阻器、电容器、铁氧体磁心、压电晶体、驻极体等。

（5）半导体管和电子管。此部分内容包括二极管、三极管、晶闸管、电子管等。

（6）电能的发生与转换。此部分内容包括绕组、发电机、变压器等。

（7）开关、控制和保护器件。此部分内容包括触点、开关、开关装置、控制装置、启动器、继电器、接触器和保护器件等。

（8）测量仪表、灯和信号器件。此部分内容包括指示仪表、记录仪表、热电偶、遥测装置、传感器、灯、电铃、蜂鸣器、喇叭等。

（9）电信：交换和外围设备。此部分内容包括交换系统、选择器、电话机、电报和数据处理设备、传真机等。

（10）电信：传输。此部分内容包括通信电路、天线、波导管器件、信号发生器、激光器、调制器、解调器、光纤传输线路等。

（11）建筑安装平面布置图。此部分内容包括发电站、变电所、网络、音响和电视的分配系统、建筑用设备、露天设备。

（12）二进制逻辑元件。此部分内容包括计算器、存储器等。

（13）模拟元件。此部分内容包括放大器、函数器、电子开关等。

1.5 习　　题

1-1　简述电气图的分类及特点。

1-2　电气图中元件的表示法有哪几种？

1-3　简述电气 CAD 的制图规则。

1-4　电气图中线路的表示方法有哪些？