

现代工程训练与工程应用



电力拖动控制线路技术

聂志强 主编



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

现代工程训练与工程应用

电力拖动控制线路技术

聂志强 主 编
赵恩铭 李文逸 副主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书内容包括控制线路基础知识、电动机启动、调速、制动、保护、故障分析与调试以及电气安全等控制线路的基本知识。根据电气技术人员的实际工作需要,通过对龙门刨床、楼宇电梯整体控制线路的分析,使读者获得控制线路的安装、调试及检修技能方面的训练,达到规范操作过程和提高操作技能的目的。

本书结构上以控制线路的应用为主线,通过对启动、调速、制动及保护线路的分析,使读者能快速查找到在不同应用场合所用电动机的控制方法与特点,每章重点介绍电力控制线路的一个应用技能。

本书主要适用于电气技师的培训,也可作为从事电气工程技术人員或中等专业学校、职业技术学校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力拖动控制线路技术/聂志强主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2008.2

(现代工程训练与工程应用系列)

ISBN 978 - 7 - 5603 - 2652 - 8

I . 电… II . 聂… III . 电力拖动-自动控制系统
IV . TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 009825 号

责任编辑 孙 杰

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 字数 267 千字

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5603 - 2652 - 8

印 数 1~3 000 册

定 价 22.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《现代工程训练与工程应用》编委会

主 任 邢忠文(哈尔滨工业大学)

副主任 张学仁(哈尔滨工业大学)

张 庆(燕山大学)

任正义(哈尔滨工程大学)

徐国义(哈尔滨理工大学)

委 员 杜丽娟 韩秀琴 陈洪勋 崔云起

王 军 高殿荣 王 冬 崔 海

舒 庆 徐小村 吴砚聪

前 言

我国机电类专业的课程设置近几年虽有所改进,但教学内容仍较陈旧。高校学生所学到的知识技能与企业的要求尚存在差距。因此,各高校都加大了对工程训练中心的投入,扩大了培训范围,希望通过对学生应用技能的前期培训,缩短其走向工作岗位的适应期,并减少企业的培训费用。

目前设立工程训练中心的高校有清华大学、北京大学、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、哈尔滨理工大学、燕山大学、山东大学、西安交通大学、北京航空航天大学、北京理工大学等近百所高校。为此哈尔滨工业大学出版社与哈尔滨工业大学工程训练中心、燕山大学机械工程学院共同探讨,联合哈尔滨工程大学、哈尔滨理工大学等几所高校出版这套面向广大学生实习、技师培训、人才培养的《现代工程训练与工程应用》系列图书。

本书按照电力拖动控制方式进行分类,通过各种实际控制线路,介绍了新的“控制线路”制图国家标准、读图方法和技巧,对电气元件的动作过程的描述,采用助记符方法。本书在介绍传统控制线路的同时,增加了对各种电动机的电子控制线路的分析介绍。

本书以“国家职业标准”为依据,以控制线路的应用为主线,通过对启动、调速、制动及保护线路的分析,使读者能快速查找到在不同应用场合所用电动机的控制方式和特点。通过对“龙门刨床”、“楼宇电梯”整体控制线路的分析和电气安全知识的介绍,使读者获得控制线路的安装、调试及检修技能方面的训练,达到规范操作过程和提高操作技能的目的。

本书适合于从事电气工程的技术人员使用,也可供高等院校、职业技术学校相关专业的师生参考。

本书的第1、7章由李文逸编写,第2、3、4章由赵恩铭编写,第5、6、8章由聂志强编写。本书在编写中收集和摘录了大量具有代表性的各种电动机实用控制线路,在此,对参考文献的著作者表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2008年1月

目 录

第 1 章 控制线路基础知识	1
1.1 控制线路识图的基本知识	1
1.2 读电气图的基本要求和步骤	21
1.3 读电气控制线路图的方法	23
思考题	24
第 2 章 电动机启动控制线路	25
2.1 直流电动机启动控制线路	25
2.2 交流电动机全压启动控制线路	31
2.3 交流电动机减压启动控制线路	42
思考题	49
第 3 章 电动机调速控制线路	53
3.1 直流电动机调速控制线路	53
3.2 交流电动机调速控制线路	58
思考题	65
第 4 章 电动机制动和保护控制线路	67
4.1 机械制动控制线路	67
4.2 直流电动机制动控制线路	69
4.3 交流电动机制动控制线路	73
4.4 电动机保护线路	80
思考题	88
第 5 章 电动机的电子控制线路	90
5.1 PWM 控制线路	90
5.2 集成线路构成的电动机控制线路	94
5.3 采用 PLL 技术的电动机控制线路	103
5.4 电动机电子保护器与软启动器应用线路	108
思考题	116
第 6 章 电力拖动控制线路应用实例	117
6.1 龙门刨床	117
6.2 电梯	134
思考题	155

第7章 控制线路故障分析与调试	156
7.1 常见的故障分析方法	156
7.2 控制线路基本调试技术	165
思考题	168
第8章 电气安全	169
8.1 电气事故种类	169
8.2 安全接地系统	173
8.3 电气安全用具	179
思考题	187
附录	188
参考文献	191

第1章 控制线路基础知识

1.1 控制线路识图的基本知识

随着科学技术的迅猛发展,机电设备越来越精密、复杂,与之相应的电力拖动控制系统也迅速发展。电气控制线路就是把工作电源、控制装置和用电设备(负载)等用导线连接起来,并且形成从电源的一端到另一端的闭合回路。识图是认识、确定线路图上所画电气设备和电气元件的名称、型号和规格,并且根据电气图形符号、文字符号和回路标号等了解电气图所表达的电气设备、电气元件的工作原理、功能、特性、接线顺序等,从而根据电气图样完成接线安装、故障检测和运行管理。电气图是电工技术领域各种图的总称。通过对电气图的识读,能使工作人员了解设备的工作过程和工作原理,从而能更好地使用、维护设备,并能在设备出现故障的时候,迅速查找根源,进行维修。因此,要读好电气图,首先要熟悉电气图的一些基本要素及基本知识。

1.1.1 电气符号

电气图主要由图形、线型、文字、数字构成。要正确、快速地识读电气图,就要清楚、明了电气图的构成要素。电气符号是电气图的主要组成部分,因此,只有清楚电气符号的含义、构成和使用方法,才能正确看图。电气符号包括图形符号、文字符号、项目代号和回路标号。各种电气图都是用这些电气符号表示线路的构成、功能、设备相互关系顺序、相互位置和工作原理的。

1. 图形符号

图形符号是通常用于图样或其他文件以表示一个设备或概念的图形、标记或字符,包括简图用图形符号和文字用图形符号,一般是简单的框图或能够表达出电气设备部件特征的图形。图形符号是构成电气图的基本单元。电气简图用图形符号标准是绘制概略图、功能图、电(线)路图等功能性简图的依据,是电气技术的工程语言。

(1) 图形符号组成。图形符号包括符号要素、一般符号、限定符号、方框符号。

① 符号要素。一种具有确定意义的简单图形,必须同其他图形组合以构成一个设备或概念的完整符号。符号要素组合使用时,其布置可以同符号表示的设备的实际结构不一致。

例如,图1.1(a)是构成电子管的4个符号要素,管壳、阴极、阳极和栅极。它们虽然有确定的含义,但一般不能单独使用,而通过不同形式组合后,即构成了多种不同形式的图形符号。

② 一般符号。用以表示一类产品和该类产品特征的一种简单的符号。

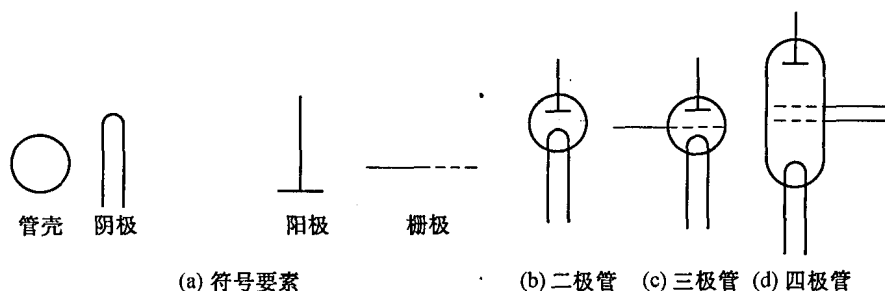


图 1.1 符号要素及其组合示例

例如, $\equiv$ 是电容器的一般符号, ∇ 是二极管的一般符号。⊙ 是电机的一般符号, 其中的 * 用不同的字母代替, 表示不同类型的电机。例如用 GS 代替 *, 则表示同步发电机; 用 MS 代替 *, 则表示同步电动机。

③限定符号。用以提供附加信息的一种加在其他符号上的符号, 通常不能单独使用。

限定符号包括电流和电压种类; 可调节性、可变性和自动控制; 力、运动和流动的方向、特性量的动作相关性、材料类型、效应或相关性、辐射、信号波形、打印、打孔和传真。

例如, 限定符号 $\equiv$ 表示直流, $\sim$ 表示交流, $\curvearrowright$ 表示双向环形运动、双向旋转、双向扭转。限定符号的应用, 使图形符号更具有多样性。

④方框符号。用以表示元件、设备等的组合及其功能, 不给出元件、设备的细节, 也不考虑所有连接的一种简单的图形符号。方框符号通常在使用单线表示法的图中, 也可用在示出全部输入和输出线路的图中。

例如,  代表步进启动器, 是一种方框符号。

(2) 图形符号的使用规则。

①在电气图中用图形符号表示的电气元件和设备, 通常都是按照无电压、无电流通过及没有外力作用下的常态画成的, 即对应在未受激励、没有外力或者是在不工作的状态和位置, 都处于自然状态。例如接触器的常闭触点在闭合位置, 常开触点在断开的位置。通常说的动合、动断触点都指开关电器在线圈无电、无外力作用时是断开或闭合的, 一旦通电或有外力作用时它们的触点状态会随之改变。

②有一些图形符号有不同的表达形式, 在同一幅电气图中, 要采用同一种形式。

③为了在电气图中, 突出主次或是区别不同用途, 相同的图形符号允许采用不同的符号大小、不同的图线宽度来表示。例如电力变压器与电压互感器、主线路与辅助线路的线型有所不同。

④在同一电气设备的三相及同类电气设备或元件的图形符号应该大小一致、线型一致、整齐划一、排列匀称。如在图 1.2 所示的两台电动机联锁控制的线路图中, 两台电动机 M_1 与 M_2 的控制接触器 KM_1 、 KM_2 , 热继电器 FR_1 与 FR_2 , 按钮开关 SB_1 、 SB_2 、 SB_3 、 SB_4 等。

⑤图形符号形状比例是不能随意改变的, 如继电器和接触器线圈的一般符号是 , 不应画成类似电阻器的符号 , 后者是不正确的。

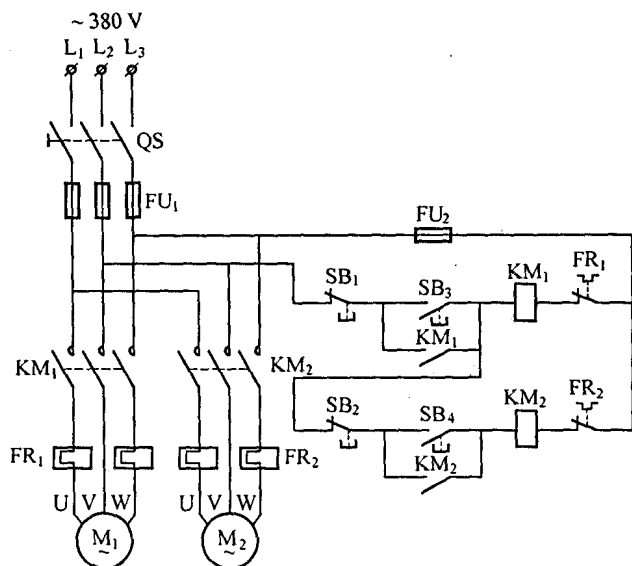


图 1.2 电动机联锁控制线路图

(3)图形符号的类别。按照表示的对象以及用途的不同,图形符号分为电气简图用图形符号和电气设备用图形符号两大类。图形符号分别符合 GB 4728《电气简图用图形符号》与 GB 5465.2—1996《电气设备用图形符号》的相关规定。

①电气简图用图形符号。电气简图用图形符号种类繁多,在 GB 4728《电气简图用图形符号》中将其分为 11 大类。

i. GB/T 4728.3—2005 第 3 部分 导线和连接器件

例如,导线一般符号,柔软导线;端子,导线连接;插头和插座;接通与断开的连接片;电缆密封终端头;电缆直通接线盒等。

ii. GB/T 4728.4—2005 第 4 部分 无源元件

例如,电阻器、电容器、电感器;铁氧体磁芯、磁存储器矩阵;压电晶体、驻极体、延迟线和延迟元件等。

iii. GB/T 4728.5—2005 第 5 部分 半导体和电子管

例如,二极管、三极管、晶闸管,光敏和磁敏器件;电子管;辐射探测器件和电化学器件等。

iv. GB/T 4728.6—2000 第 6 部分 电能的发生和转换

例如,绕组;直流电机、交流换向器电机、同步电机;电动机;变压器;变流器;原电池、蓄电池和电池组等。

v. GB/T 4728.7—2000 第 7 部分 开关、控制和保护装置

例如,触点;开关、热敏开关、接近开关、接触开关;开关装置和控制装置;启动器;有或无继电器;测量继电器和有关器件;熔断器、火花间隙、避雷器;静态开关等。

vi. GB/T 4728.8—2000 第 8 部分 测量仪表、灯和信号器件

例如,指示、积算和记录仪表、计数器件;热电偶;遥测装置;电子钟;位置和压力传感器;灯、喇叭和铃等信号装置。

vii. GB/T 4728.9—1999 第 9 部分 电信:交换和外围设备

例如,交换系统、选线器部件与选线器;电话机;电报和数据处理设备;传真机、换能器、记录机和播放机等。

viii. GB/T 4728.10—1999 第 10 部分 电信:传输

例如,通信线路;天线部件与天线、无线电台;单端口、双端口或多端口波导管器件、耦合器和探针、微波激励器、激光器;信号发生器、变换器、放大器、多端网络、限幅器、终端器件和混合线圈、调制器、解调器、鉴别器、集线器,多路调制器、脉冲编码调制器;频谱图,光纤传输线路和器件等。

ix. GB/T 4728.11—2000 第 11 部分 电力、照明和电信布置

例如,发电站和变电站;网络;音响和电视的电缆配电系统;插座引出线、电灯引出线;机场导航灯与指示器

x. GB/T 4728.12—1996 第 12 部分 二进制逻辑单元

例如,限定符号;关联符号;组合和时序单元,如缓冲器、驱动器和编码器;运算器单元;延时单元;双稳、单稳及非稳单元;移位寄存器和计数器和存储器等。

xi. GB/T 4728.13—1996 第 13 部分 模拟单元

例如,模拟和数字信号识别用的限定符号;放大器的限定符号;函数器;坐标转换器;电压调整器、比较器;电子开关等。

电气简图用图形符号是构成电气图的基本单元,是应用最广泛的图形符号。

②电气设备用图形符号。GB 5465.2—1996《电气设备用图形符号》将设备用图形符号分为 6 大类,分别是通用符号;广播、电视及音响设备符号;通信、测量、定位符号;医用设备符号;电化教育符号;家用电器及其他符号。

电气设备用图形符号与电气简图用图形符号一般是不相同的。有的符号即使相同,但是含义却是不同的。如变压器的图形符号,简图用图形符号与设备用图形符号在形式上是相同的,但是意义不同。电气简图用变压器图形符号在电气图中表示变压器设备。而电气设备用图形符号中的变压器符号,表示电气设备可通过变压器与电力线相连接的开关、控制器、连接器等连接,也可以用于变压器包封和外壳上,或是用在平面布置图上,表示变压器的安装位置。

(4)常用电气简图用图形符号。表 1.1 是一些常用电气简图用图形符号部分举例。

表 1.1 常用电气简图用图形符号

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
==	直流 电压可标注在符号右边,系统 类型可标注在左边 示例: 2/M == 220/110 V 表 示电压 220/110 V 两线带中间 线的直流系统	N	中性(中性线)
		M	中间线
		~	低频(工频或亚音频)
		≈	中频(音频)
~	交流 频率值或频率范围可标注在 符号的右边	≈	高频(超音频、载频或射频)

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
~ 50 Hz	示例: 交流 50 Hz	3/N ~ 400/230 V 50 Hz	电压值也可标注在符号右边, 相数和中性线数存在时, 可标注在符号左边
~ 100...600 kHz	示例: 交流, 频率范围 100 kHz 到 600 kHz		示例: 交流, 三相带中性线, 400 V, 相线和中性线间的电压是 230 V, 50 Hz
3/N ~ 50 Hz /TN-S	交流, 三相, 50 Hz, 具有一个直接接地点, 且中性线与保护导体全部分开的系统		按箭头方向的: 单向环形运动、单向旋转、单向扭转
+	正极性		双向环形运动、双向旋转、双向扭转
-	负极性		振动(摆动)
形式 1 	T型连接 在 T 型连接符号中增加连接点符号	形式 1 	导体的双重连接 形式 2 仅在设计中认为必要时使用
形式 2 		形式 2 	
形式 1 	接通的连接片		电容器, 一般符号
形式 2 			
	电阻器一般符号		极性电容器
	可调电阻器		可调电容器
	带滑动触点的电位器		预调电容器
	电热元件		热敏极性电容器
	电感器, 线圈, 绕组, 扼流圈		压敏极性电容器
	带磁芯的电感器		半导体二极管, 一般符号
	磁芯有间隙的电感器		发光二极管, 一般符号

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	带磁芯连续可变电感器		变容二极管
	带固定抽头的电感器, 示出两个抽头		单向击穿二极管
	反向阻断三极晶体闸流管 P 型控制极		无指定形式的三极晶体闸流管
	双向三极晶体闸流管、三端双向晶体闸流管		具有 N 型双基极单结晶体管
	PNP 半导体三极管		N 型沟道结型场效应半导体管
	NPN 半导体三极管		光电二极管 具有非对称导电性的光电器件
	集电极接管壳的 NPN 三极管		光电池
	电机的一般符号 符号内的星号用下述字母之一代替 G—发电机; GS—同步发电机; M—电动机; MS—同步电动机		光敏电阻
	直流串励电动机	形式 1	双绕组变压器 瞬时电压的极性可以在形式 2 中表示 示例: 示出瞬时电压极性的双绕组变压器, 注入绕组标记端的瞬时电流产生助磁通
	三相鼠笼式感应电动机	形式 2	
		形式 3	
	单相鼠笼式有分相绕组引出端的感应电动机	形式 1	三绕组变压器
	三相绕线式转子感应电动机	形式 2	

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	接地,一般符号		电流互感器、脉冲变压器
	抗干扰接地,无噪声接地		绕组间有屏蔽的双绕组单相变压器
	保护接地		在一个绕组上有中心点抽头的变压器
	接触器功能		耦合可变的变压器
	断路器功能		单向自耦变压器
	隔离开关功能		负荷开关功能
	无自动返回功能 此符号可用来指示无自动返回功能。使用时,应该适当标注		由内装的测量继电器或脱扣器启动的自动释放功能
	自动返回功能 例如,弹性返回 这个符号可用来指示自动返回	形式1 形式2	动合触点,也称常开触点。也可作为开关一般符号使用 注意:动触点必须偏向左边,且动触点与静触点是断开的
	限制开关功能 位置开关功能 注:(1)当不需要表示接触的操作方法时,这个限定符号可用在简单的触点符号上,以表示限制开关和位置开关;(2)当在两个方向都用机械操作触点时,这个符号应加在触点符号的两边		动断触点,也称常闭触点 注意动、静触点必须偏向右边,且动、静触点在图形符号上是连接的
			先断后合的转换触点 注意将该符号与先合后断的转换触点区别开来 常用于表示控制开关或继电器的触点
	中间断开的双向触点		当操作器件被吸合时,暂时闭合的过渡动合触点
形式1	先合后断的转换触点		当操作器件被释放时,暂时闭合的过渡动合触点
形式2			

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	双动合触点		当操作器件被吸合或释放时,暂时闭合的过渡动合触点
	双动断触点		(多触点组中)比其他触点提前吸合的动合触点
	(多触点组中)比其他触点滞后吸合的动合触点		(多触点组中)比其他触点滞后释放的动断触点
	(多触点组中)比其他触点提前释放的动断触点		当操作器件被吸合时延时闭合的动合触点
	当操作器件被释放时延时闭合的动断触点		当操作器件被释放时延时断开的动合触点
	当操作器件被吸合时延时断开的动断触点		由一个不延时的动合触点,一个吸合时延时断开的动断触点和一个释放时延时断开的动合触点组成的触点组
	吸合时延时闭合和释放时延时断开的动合触点		有自动返回的动合触点
	无弹性返回的动合触点		有自动返回的动断触点
	左边弹性返回,右边无弹性返回的中间断开的双向触点		手动操作开关的一般符号
	具有动合触点且自动复位的拉拨开关		具有动合触点且自动复位的按钮开关
	具有动合触点但无自动复位的旋转开关		位置开关,动合触点
	位置开关,动断触点		热敏开关,动断触点 θ 可用动作温度代替
	对两个独立线路作双向机械操作的位置开关		热敏自动开关,动断触点,注意区别此触点和下图所示热继电器的触点
	热敏开关,动合触点 θ 可用动作温度代替		具有热元件的气体放电管荧光灯启动器

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	杠杆操作开关 三位置,上面位置定位而下边位置自动复位到中间位置,用端子示出		按钮操作开关 一组触点由推动按钮(自动复位)操作,而另一组触点由旋转按钮(无自动复位、定位)操作,尖括号表示只有一个操作器
	接触器 接触器的主动合触点(在非动作位置触点断开)		具有由内装的测量继电器或脱扣器触发的自动释放功能的接触器
	接触器(在非动作位置触点闭合) 接触器的主动断触点		断路器
	隔离开关		具有由内装的测量继电器或脱扣器触发的自动释放功能的负荷开关
	具有中间断开位置的双向隔离开关		手工操作带有闭锁器件的隔离开关
	电动机启动器,一般符号 注:特殊类型的启动器可以在一般符号内加上限定符号		可逆式电动机直接在线接触器式启动器
	步进启动器		自耦变压器式启动器
	调节-启动器		带可控硅整流器的调节-启动器
	熔断器一般符号		熔断器式隔离开关
	熔断器烧断后仍可以使用,一端用粗线表示的熔断器		熔断器式负荷开关
	带机械连杆的熔断器(撞击式熔断器)		火花间隙
	熔断器式开关		避雷器

续表 1.1

图形符号	名称与说明	图形符号	名称与说明
	无功电流表		检流计
	电压表		温度计、高温计
	示波器		子钟，一般符号
	灯，一般符号		闪光型信号灯
	信号灯，一般符号		电喇叭
	如果要求指示颜色，则在靠近符号处标出下列代码：RD—红；YE—黄；GN—绿；BU—蓝；WH—白		电铃
	如果要求指出灯的类型，则在靠近符号处标出下列代码：Ne—氖；Xe—氙；Na—钠气；Hg—汞；I—碘；IN—白炽；EL—电发光；ARC—弧光；FL—荧光；IR—红外线；UV—紫外线；LED—发光二极管		(电源)插座，一般符号
形式1	(电源)多个插座(示出三个)		开关，一般符号
形式2			
	带保护接点(电源)插座		单极拉线开关
	具有护板的(电源)插座		单极限时开关

2. 文字符号

文字符号适用于电气技术领域技术文件的编制，一般标注在电气设备、装置和电气元件之上或近旁，以表明它们的名称、功能、状态或特征，从而更明确地区分不同设备、元件以及不同功能的设备元件。文字符号还有为项目代号提供电气设备、装置和元器件种类字母代码和功能字母代码、为限定符号与一般图形符号配合使用从而派生新图形符号的作用。文字符号是字符代码，分为基本文字符号和辅助文字符号。文字符号所使用的字母均为拉丁字母，并且是大写正体。

(1)基本文字符号。基本文字符号用以表示电气设备、装置、元器件以及线路的基本名称和特性。基本文字符号分为单字母符号和双字母符号。