

机电控制技术

JiDian
KongZhi JiShu

主 编◎樊留锁
副主编◎朱卫国
主 审◎姚国林

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机电控制技术

主 编 樊留锁
副主编 朱卫国
编 者 张 波
吴慧敏
程海洲
主 审 姚国林

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机电控制技术/樊留锁主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8061 - 7

I. ①机… II. ①樊… III. ①机电一体化-控制系统-高等职业教育-教材 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 235253 号

北京理工大学出版社
北京市海淀区中关村南大街5号
100081
电话: (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)
网址: http://www.bitpress.com.cn
全国各地新华书店
北京泽宇印刷有限公司
787毫米×1092毫米 1/16
15.25
350千字
2014年10月第1版 2014年10月第1次印刷
42.00元

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15.25

字 数 / 350 千字

版 次 / 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 42.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

本书是根据“机电控制技术”课程教学的基本要求,结合当前相关院校所进行的课程建设与改革的需要编写的。

本书围绕 21 世纪高等教育专业人才的培养要求,以培养人才综合素质为宗旨,以提高人才的应用能力为原则,充分地反映了高等教育特色。本书主要有如下特点:

1. 综合性

在编写中,编者根据学生的基本情况以及企业的需求,对“机电控制技术”课程的内容重新整合,并建立了新的课程教学内容体系,体现了教材的综合性。

2. 实用性

“机电控制技术”是一门实践性极强的课程。编者在编写过程中,在保证理论够用的基础上,着重于电气控制技术与 PLC 应用技术等问题的分析与解决方案的阐述。本书讲述了大量的现场技术实例,这能帮助读者较快地掌握有关的技术核心,体现了教材的实用性。

本书适用于高等学校、机电一体化技术、电气自动化技术等专业的教学。

本书由樊留锁主编。第一、二、三、四、五、六单元由樊留锁编写,七、八单元由朱卫国编写,九、十、十一单元由程海洲编写,十二、十三、十四、十五单元由吴慧敏编写。全书由樊留锁负责统稿与定稿,姚国林主审。

限于编者的学术水平,书中缺点、错误在所难免。恳请广大读者批评指正。

编 者

Contents

目录

Contents

单元一 常用低压电器的基本原理	1
项目 1 低压电器的基本知识	1
任务 1 低压电器的分类	1
任务 2 低压电器的基本结构和型号	2
任务 3 低压电器的主要技术参数	4
任务 4 额定工作制、正常工作条件及使用类别	4
任务 5 低压电器的三大系统	7
项目 2 低压电器要解决的基础问题	14
任务 1 触头的四个工作过程	14
任务 2 弹跳	14
任务 3 接触电阻	15
任务 4 线圈过电压	16
任务 5 涡流与振动	16
任务 6 触头间的安全距离	18
任务 7 吸力特性与反力特性的配合	18
习 题	21
单元二 刀开关	22
项目 1 刀开关的附件和分类	22
任务 1 刀开关的附件	22
任务 2 刀开关的分类	22
项目 2 隔离器与负荷开关	23
任务 1 隔离器	23
任务 2 负荷开关	24
项目 3 开启式刀开关	24
项目 4 封闭式负荷开关	26
项目 5 熔断器式开关	27
项目 6 组合开关	28
项目 7 刀开关的正确安装、操作与选择	29
习 题	29

目 录

单元三 熔断器	31
项目 1 熔断器概述	31
任务 1 熔体的材料及形状	31
任务 2 熔断器的技术参数	32
任务 3 熔断器的型号及图形文字符号	32
项目 2 常见的低压熔断器	32
任务 1 瓷插式熔断器 (RC1A 系列)	32
任务 2 螺旋式熔断器	34
任务 3 RM 系列无填料封闭管式熔断器	35
任务 4 RTO 系列有填料封闭管式熔断器	36
项目 3 熔断器的选用	36
任务 1 熔断器类型的确定	36
任务 2 熔断器额定电流的确定	37
任务 3 熔断器上、下级的配合	38
项目 4 熔断器的使用及维护	38
任务 1 熔断器的使用	38
任务 2 熔断器的运行维护	39
习 题	39
单元四 低压断路器	41
项目 1 低压断路器的概述	41
任务 1 低压断路器的用途及分类	41
任务 2 断路器的型号、图形符号及文字符号	42
任务 3 断路器的结构及工作原理	43
任务 4 断路器的主要技术参数	44
项目 2 常用的低压断路器	46
任务 1 一般用途的塑料壳式断路器	46
任务 2 万能式 (框架式) 断路器	48
任务 3 小型及家用塑料壳式断路器	50
任务 4 剩余电流 (漏电) 保护断路器	51
任务 5 直流快速断路器	52
项目 3 低压断路器的选用	53
任务 1 空气断路器的一般选用原则	54
任务 2 配电用断路器的选用	55
任务 3 电动机保护用断路器的选用	56
任务 4 家用断路器的选用	56
任务 5 直流断路器的选用	57
任务 6 漏电保护断路器的选用	57
习 题	58

单元五 继电器	59
项目 1 概述	59
任务 1 继电器的原理	59
任务 2 继电器的分类	59
任务 3 继电器的作用	61
项目 2 电压与电流继电器	61
任务 1 过量与欠量继电器	61
任务 2 继电器的返回系数	62
任务 3 继电器的操作频率	62
任务 4 通用电磁继电器	62
项目 3 时间继电器	63
任务 1 时间继电器的定义及分类	63
任务 2 时间继电器的图形文字符号	63
任务 3 空气阻尼式时间继电器	65
任务 4 电动式时间继电器	65
任务 5 电子式时间继电器	66
项目 4 热继电器	66
任务 1 热继电器的结构和工作原理	66
任务 2 热继电器的主要技术要求	67
任务 3 热继电器的选用	68
项目 5 速度继电器	69
项目 6 继电器的选择	71
习 题	72
单元六 接触器	73
项目 1 接触器概述	73
任务 1 接触器的分类	73
任务 2 接触器的机构及工作原理	73
任务 3 接触器的型号、图形符号和文字符号	75
项目 2 交流接触器	75
任务 1 用途和分类	75
任务 2 交流接触器的结构和工作原理	76
任务 3 交流真空接触器	78
任务 4 接触器的技术参数	79
任务 5 常用交流接触器	82
任务 6 接触器的选择、使用及维护	83
项目 3 直流接触器	86

目 录

任务1 用途和分类	86
任务2 直流接触器的结构	87
任务3 基本技术指标	88
任务4 直流接触器的典型产品及其主要技术参数	88
任务5 直流接触器的选用	89
任务6 安装和维修	90
习 题	91
单元七 主令电器	92
项目1 按钮开关	92
任务1 结构及分类	92
任务2 按钮开关的分类	93
任务3 技术参数及应用	94
任务4 按钮开关的选用	94
任务5 按钮开关的使用与维护	94
项目2 位置开关	95
任务1 行程开关的用途和分类	95
任务2 常用行程开关	96
任务3 万能转换开关	97
任务4 接近开关	99
习 题	100
单元八 执行机构	101
项目1 电磁铁	101
项目2 电磁阀	101
任务1 电磁阀的分类、命名和工作原理	101
任务2 电磁阀的选用	103
项目3 电磁制动器	103
项目4 电动机	104
习 题	105
单元九 电气系统安全防护	106
项目1 电气安全防护的分类	106
任务1 电气系统的基本安全运行防护	106
任务2 工艺上的防护	107
项目2 电流型防护	108
任务1 短路防护	108
任务2 过电流防护	109

任务3 过载	110
项目3 电压型防护	111
任务1 过电压的种类	111
任务2 欠压和失压	111
任务3 断相	112
项目4 漏电防护	115
任务1 漏电的危害	115
任务2 防护的方案	116
任务3 防护的分类	117
任务4 应注意的问题	118
项目5 电动机温度型防护	118
任务1 双金属片温度继电器	118
任务2 热敏电阻式温度继电器	119
习 题	119
单元十 三相异步电动机的启动控制	120
项目1 三相异步电动机的正转控制线路	120
任务1 刀开关控制线路	120
任务2 点动控制线路	121
任务3 单向运转控制回路	122
任务4 带点动控制的单向运转线路	125
项目2 三相异步电动机正反转控制线路	125
任务1 倒顺开关正反转控制线路	126
任务2 接触器正反转控制线路	127
任务3 接触器联锁的正反转控制线路	128
任务4 复合按钮联锁的正反转控制线路	129
任务5 按钮、接触器双重联锁的正反转控制线路	130
任务6 设备的互锁控制	130
项目3 三相异步电动机的降压启动	131
任务1 降压启动的切换原则	131
任务2 星三角转换降压启动线路	132
任务3 自耦变压器降压启动控制线路	134
任务4 延边三角形降压启动控制线路	137
任务5 三相绕线转子式异步电动机的启动控制	139
任务6 固态降压启动器	143
任务7 三相异步电动机降压启动方式选择	146
习 题	147

目 录

单元十一 三相异步电动机的转速控制	148
项目 1 变极调速	148
任务 1 变更极对数的原理	148
任务 2 双速电动机的控制线路	150
任务 3 三速及多速电动机的原理	151
项目 2 变转差率调速	151
任务 1 变压调速	152
任务 2 电磁转差离合器调速	152
任务 3 绕线转子式电动机转子串电阻调速	155
任务 4 串级调速	156
项目 3 变频调速	156
任务 1 变频调速	157
任务 2 负载的机械特性	157
任务 3 电动机电参数分析	158
任务 4 基频以下的恒转矩变频调速	159
任务 5 恒压频比调速	159
任务 6 基频以上的弱磁变频调速	159
任务 7 平方减转矩调速	160
习 题	160
单元十二 三相交流异步电动机制动控制	161
项目 1 机械制动	161
任务 1 电磁抱闸断电制动控制线路	161
任务 2 电磁抱闸通电制动控制线路	162
项目 2 三相交流电动机电气制动	163
任务 1 反接制动控制线路	163
任务 2 能耗制动控制线路	166
任务 3 短接制动控制线路	168
任务 4 超同步制动	170
项目 3 三相同步电动机的控制线路	171
任务 1 同步电动机的启动控制线路	171
任务 2 三相同步电动机制动控制线路	173
习 题	173
单元十三 三相异步电动机的其他控制	175
项目 1 三相异步电动机的顺序联锁控制	175
任务 1 顺序联锁启动与防护	175
任务 2 顺序启动与顺序停止	176

任务3 时间继电器实现的顺序启动	177
项目2 三相异步电动机的行程控制	177
任务1 限位保护	178
任务2 两点自动往返控制	179
任务3 多点自动往返循环控制	179
项目3 三相异步电动机的多地控制	180
项目4 时序控制	181
项目5 单按钮启停控制	183
项目6 电动机的定向运转控制	184
习 题	185
 单元十四 直流电动机的基本控制线路	187
项目1 他励直流电动机的基本控制线路	187
任务1 他励直流电动机的启动控制电路	187
任务2 他励直流电动机的正反转控制电路	189
任务3 他励直流电动机的制动控制线路	190
任务4 他励直流电动机的调速	193
项目2 并励直流电动机的基本控制线路	196
任务1 并励直流电动机的启动控制	196
任务2 并励直流电动机的正反转控制	197
任务3 并励直流电动机能耗制动线路	198
任务4 并励直流电动机的调速控制线路	198
项目3 串励直流电动机基本控制线路	199
任务1 串励直流电动机的启动控制线路	199
任务2 串励直流电动机的正反转控制电路	200
任务3 串励直流电动机的制动	201
任务4 串励直流电动机的调速	203
项目4 直流电动机的保护	203
任务1 短路和过载保护	203
任务2 零励磁保护	204
任务3 零压和欠压保护	204
任务4 超速保护	204
习 题	205
 单元十五 电气控制系统设计	206
项目1 电气控制系统设计基础	206
任务1 电气控制系统设计的基本内容	206
任务2 电气设计的技术条件	207

目 录

任务3 电气控制设计的一般原则	208
任务4 电气控制设计的一般程序	208
任务5 电气控制原理图设计的基本步骤与方法	209
任务6 电气控制设计的若干规则	209
任务7 电气设计中应注意的问题	213
项目2 电气传动形式的选择	217
任务1 交直流电动机的选择	217
任务2 电动机与负载工作特性的配合	217
任务3 典型生产机械的工艺要求和电气传动系统方案的选择	218
项目3 电气控制线路的设计方法	220
任务1 电气控制经验设计法	220
任务2 电气控制线路的逻辑分析设计方法	223
项目4 电气控制工艺设计基础	224
任务1 电气装置总体配置设计	224
任务2 电器柜、箱及非标准零件图的设计	226
习 题	227
参考文献	228

单元一

常用低压电器的基本原理

随着现代工业的发展,生产过程中的电气控制自动化水平在不断提高,电器在生产过程中发挥着越来越重要的作用。

低压电器是电气控制系统中最基本的控制元件。控制系统的可靠性与低压电器的性能有着直接的关系。掌握低压电器的结构、原理、选用、安装、维护是电气工程技术人员必备的基本知识和技能。本单元主要讲述了低压电器的结构、原理、型号及图形文字符号、选用、安装维护等方面的基本知识,同时讲解了基本的电气控制环节及基本的电气控制线路。

项目1 低压电器的基本知识

在配电线路或电气控制线路中,根据外界给定的信号或要求,自动或手动地通断电路,断续或连续地改变电路的状态,从而实现对电路或非电量的检测、切换、控制、保护、调节等作用的电气元件,称为电器。

低压电器是指工作在交流1200V以下或直流1500V以下电路中的电器。常见的低压电器主要有:刀开关、断路器、熔断器、接触器、继电器、主令电器等。

任务1 低压电器的分类

本任务要求掌握低压电器的分类方法及其内容。

低压电器的种类繁多,用途广泛。其分类方法一般有以下几种:

1. 按用途或控制对象分类

(1) 配电电器:这类电器主要有刀开关、熔断器、低压断路器、转换开关等。这类电器要求断流能力强,限流效果好,同时具有好的热稳定性及动稳定性。

(2) 控制电器:主要用于自动控制系统。它主要包括各种传感器、接触器、继电器、启动器等。此类电器要求操作频率高,寿命长,并有一定的转换能力。

2. 按工作条件分类

(1) 一般用途的低压电器。

(2) 化工用低压电器(耐腐蚀、抗粉尘)。

(3) 矿用低压电器(防爆)。

(4) 牵引用低压电器(抗振动、冲击及高温)。

(5) 船用低压电器(耐潮湿,防腐,抗振动、冲击)。

(6) 航空用低压电器(抗振动、冲击,体积小,重量轻)。

3. 按国家标准分类

(1) 刀开关H。例如,HS为双投式刀开关(刀形转换开关),HZ为组合开关。

(2) 熔断器R。例如,RC为瓷插式熔断器,RM为密封式熔断器。

- (3) 断路器 D。例如, DW 为万能式断路器, DZ 为塑壳式断路器。
- (4) 控制器 K。例如, KT 为凸轮控制器, KG 为鼓型控制器。
- (5) 接触器 C。例如, CJ 为交流接触器, CZ 为直流接触器。
- (6) 启动器 Q。例如, QJ 为自耦变压器降压启动器, QX 为星三角启动器。
- (7) 控制继电器 J。例如, JR 为热继电器, JS 为时间继电器。
- (8) 主令电器 L。例如, LA 为按钮, LX 为行程开关。
- (9) 电阻器 Z。例如, ZG 为管型电阻器, ZT 为铸铁电阻器。
- (10) 变阻器 B。例如, BP 为频敏变阻器, BT 为启动调速变阻器。
- (11) 调整器 T。例如, TD 为单相调压器, TS 为三相调压器。
- (12) 电磁铁 M。例如, MY 为液压电磁铁, MZ 为制动电磁铁。
- (13) 其他 A。例如, AD 为信号灯, AL 为电铃。

4. 按操作方式分类

(1) 手动电器: 通过人力做功完成连通、分断、启动、停车等动作的电器。此类电器包括刀开关、主令电器等。

(2) 自动电器: 通过电磁(或压缩空气)做功完成连通、分断、启动、停车等动作的电器。此类电器包括接触器、继电器等。

任务2 低压电器的基本结构和型号

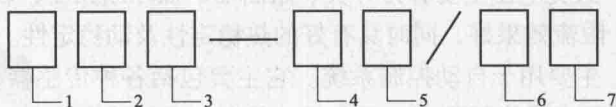
本任务要求掌握低压电器的三大部分结构和命名规则。

1. 常见低压电器的基本结构可分为三大部分

- (1) 感应机构: 接收输入信号, 例如电压、电流、压力、频率等。
- (2) 中间机构: 将输入信号检测、转换、放大比较, 并传递给执行机构。
- (3) 执行机构: 接收中间机构输入的信号, 并通过自身的通断动作向被控制电路输出指令, 以实现对被控制电路的控制。

2. 低压电器的型号

低压电器的型号一般由七个部分组成, 产品型号含义如下:



- 1——类组代号;
- 2——设计序号;
- 3——特殊派生代号;
- 4——基本规格代号;
- 5——派生代号;
- 6——辅助规格代号;
- 7——热带产品代号。

(1) 类组代号: 用字母表示

①类: 用所代表产品种类的第一个音节的第一个字母表示。如第一个音节的第一个字

母重复,则用所代表产品种类的第二个音节的第一个字母表示。

例如:Q——启动器;R——熔断器;L——主令电器。

②组:根据电器的工作原理、结构特征、使用条件不同,在同一类电器中分为若干组。命名方法与类的命名方法相同。

例如:CJ——交流接触器;CZ——直流接触器;QZ——综合启动器。

(2) 设计序号:在同一类产品中,设计原理、性能参数、防护类别的不同决定不同的设计序列(用数字表示)。

例如:5——化工;6——农用;7——纺织;8——防爆;9——船用;CJ10——一般用途交流接触器。

(3) 特殊派生代号:一般不用。

(4) 基本规格代号:指同类、同组、同一设计序列产品的不同规格。它根据这一产品的优先参数确定,并用数字表示。

例如:CJ10-10表示额定电流为10A的一般用途交流接触器。

(5) 派生代号:指同类、同组、同一设计序列、同一规格代号产品的个别特征,并用字母表示。派生代号及含义如表1-1所示。

表1-1 派生代号及其含义

派生代号	意 义
A、B、C、D	结构设计稍有改进或变化
C	插入式
J	交流、防溅式
Z	直流、自动复位、正向、重任务
W	无灭弧装置、无极性
N	逆向、可逆
S	有锁住结构、手动复位、防水式、三相、双电源
P	电磁复位、防滴式、单相、电压的
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	密封式、灭磁
L	电流的
Q	防尘式、手车式
X	限流
G	高电感、高通断能力型
F	带分励脱扣器,并注于全型号之后
T	热带专用,并注于全型号之后
TH	湿热带专用,并注于全型号之后
TA	干热带专用,并注于全型号之后

单元一 常用低压电器的基本原理

例如：QZ610-4F 表示一般用途的、启动功率为 4 kW 的、带分励脱扣器的农用综合启动器。

(6) 辅助规格代号：指同类、同组、同一设计序列、统一规格产品的某种区别。

例如：JR0-20/3D 表示额定电流为 20 A、三极式的、带断相保护的一般用途的热继电器。

(7) 热带产品代号：一般不用。

任务3 低压电器的主要技术参数

本任务要求掌握低压电器的主要技术参数以及它们的意义。

(1) 额定电压：低压电器的额定电压一般分为额定工作电压 U_e 、额定绝缘电压 U_i 、额定脉冲电压 U_{imp} 三种。

① 额定工作电压 U_e ：保证电器长期正常工作的工作电压值。

② 额定绝缘电压 U_i ：电器不被击穿的最大工作电压值。

③ 额定脉冲电压 U_{imp} ：系统发生过电压时，所能承受的最大电压值。

(2) 额定电流：保证电器长期正常工作的工作电流值。

(3) 操作频率及通电持续率。

① 操作频率：电器每小时可能实现的最高循环次数。

② 通电持续率：电器的有载工作时间与工作周期的比值，并用 TD 表示。

(4) 寿命：低压电器的寿命分为机械寿命和电寿命。

① 机械寿命：电器在需要修理或更换机械零件前，所能承受的无载操作循环次数。

② 电寿命：电器触头在无需修理或更换零件前，所能承受的负载操作循环次数。一般电器的电寿命即电器的触头寿命，且是机械寿命的 5% ~ 20%。

任务4 额定工作制、正常工作条件及使用类别

本任务讲述额定工作制的概念和低压电器的使用及安装条件、使用类别，其中使用类别是电器选择的首要依据。

1. 额定工作制

低压电器的额定工作制一般分为长期工作制、八小时工作制、短期工作制、反复短期工作制 4 类。如图 1-1 所示。

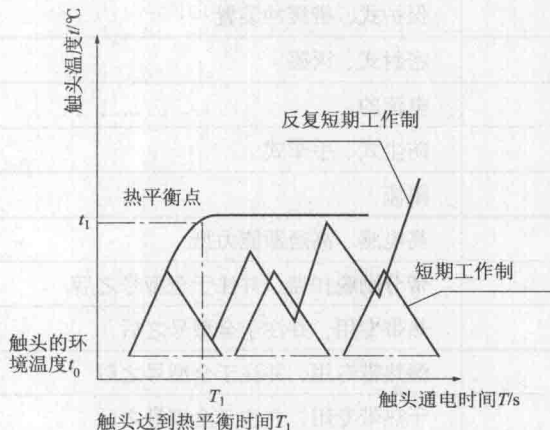


图 1-1 低压电器的额定工作制曲线

(1) 长期工作制：电器一旦启动，则在工作过程中没有空载期的工作制。

(2) 八小时工作制：在电器的电路中通一个稳定电流，且在八小时内电器达到热平衡，而到八小时立即断电的工作制。在这一工作制中，触头产生的热量与触头扩散到周围介质中热量相等。这使触头在高于环境温度的某一值达到一个稳定值。

(3) 短期工作制：有载时间与空载时间互相交替，且前者比后者短的工作制。它的通电时间不足以使电器达到热平衡，但两次通电时间间隔足以使电器恢复到环境温度。

(4) 反复短期工作制：有载时间与空载时间互相交替，不但其通电时间不足以使电器达到热平衡，而且两次通电时间间隔也不足以使电器恢复到环境温度。

反复短期工作制的操作频率可分为14级，即1、3、12、30、120、300、(600)、1 200、(1 800)、3 000、12 000、30 000、120 000、300 000，每一级的数字表示每小时操作的循环次数，括弧表示非优先等级。

反复短期工作制的通电持续率可分为4级，即：TD15 (15%)、TD25 (25%)、TD40 (40%)、TD60 (60%)。

2. 低压电器的使用及安装条件

影响低压电器使用及安装条件有气候条件和污染等级两个因素。

1) 气候条件

① 低压电器工作的环境温度。上限为 40°C ，若环境温度过高，则影响电器散热，从而加速电器绝缘系统的老化；下限为 -5°C ，若环境温度过低，则电器易结露，从而影响电器的绝缘及机械强度。

② 低压电器的安装地点。海拔高度不超过2 000m，否则不易灭弧。相对湿度不超过50%，否则电器易结露并影响绝缘。

2) 污染等级

① 污染的定义。此处污染是指影响电器的介电强度或表面电阻率的外部物质。

② 污染等级分类。如表1-2所示为污染等级分类。

表1-2 污染等级分类

污染等级	特 点
1	无污染或仅有干燥的非导电性污染
2	非导电性污染
3	非持久性导电性污染，例如因结露致非导电性污染而导电
4	持久性导电性污染，如导电性尘埃

为保证低压电器能正常工作，一般选用污染等级3的环境。

3. 使用类别

低压电器的使用类别用于确定电器的用途。使用类别通常用额定工作电流的倍数、额定工作电压的倍数、相应的功率因数、时间常数、短路性能、选择性以及其他条件，来表征电器额定接通能力和分断能力的类别。使用类别是针对实际工作情况选择电器的首要条件，被选得高了可以满足需要，但经济性不好；被选得低了，则不能完成控制任务，甚至造成电器或设备的损坏，以至发生危险。低压电器使用电流的类别代号及用途见表1-3。