

电气控制技术实践

快速入门

王至秋 主 编

于艳 高春风 赵丽清 副主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电气控制技术实践

快速入门

王至秋 主 编

于艳 高春风 赵丽清 副主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为了帮助广大读者快速掌握电气控制技术,提高解决实际问题的能力,特编写了本书。本书详细介绍了电气工程中常用及新型低压电器、智能电器的基本结构、工作原理、重要参数、典型应用、故障检测方法和选用方法;系统地介绍了电动机的基本控制环节、可编程控制器、继电器、电气控制及其保护环节、电气线路设计、安装与调试的方法等内容。全书图文并茂,理论联系实际,侧重于实践应用,讲解细致入微,便于自学,可使初学者轻松步入电气控制的兴趣天地。

本书可供从事电气工程及自动化、生产过程自动化领域的工程技术人员阅读,也可作为高等学校电气工程及其自动化、自动控制类等专业的实践教学参考书,职业学校相关专业也可选用。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术实践快速入门/王至秋主编. —北京:中国电力出版社, 2010. 3

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0086 - 6

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制 IV. ①TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 021076 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 5 月第一版 2010 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 421 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

低压电器是一种能根据外界的信号和要求,手动或自动地接通、断开电路,以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的元件或设备。电气控制系统主要包括普通电气传动控制(速度、位置、压力、张力、流量等)系统、综合(分级)自动化系统以及自动生产线。不同的电气控制系统由不同功能的低压电器组合而成。它们是现代化生产的重要组成部分和基石。电气控制系统广泛应用于各工业部门及需要动力的场合中,该系统是由电动机及供电、检测、控制装置组成的反馈控制系统,是把电能转换成非电能量的装置,其特征是:它能自动地完成能量变换和控制所需的信息处理;其结果是:改善人们在生产及生活过程中工作的条件,大幅度提高生产效率。

科技的进步,使得新型低压电器不断涌现,也不断改变着电气控制技术的面貌,使它向集成化、智能化、信息化、网络化方向发展。对于低压电器行业工作者来说,需要不断充实自己,才能适应日新月异的时代变化。同时,低压电器及其控制技术也是高校电类及相关专业的一门重要的专业课程,该课程具有基础宽泛、系统性强、应用面广、实践技能要求高等特点,一般在相应理论课程结束后都有一定量的实践环节予以加强和补充,需要花较大精力才能更好地掌握。为了满足广大低压电器使用人员及高校相关专业实践课程教学的需要,我们组织编写了本书,旨在帮助读者在对低压电器及其控制技术有系统认识的基础上,能设计出符合要求的控制电路,并进行安装调试及故障查找,提高其解决实际问题的能力。

本书共分十六章,以图文并茂的形式细说了电气工程中常用的低压电器及智能电器的基本结构、工作原理、重要参数、典型应用和选用方法;系统地介绍了电动机的基本控制环节、可编程控制器、电气控制线路及其保护环节,以及电气线路的分析、设计、安装与调试的方法等内容。书中电器图片一般采用实物相片的形式,目的是让读者对其有更加直观的认识;全书内容切合实际,取材新颖,注重与工程实际的紧密联系,并侧重介绍一些新思想、新方法和新技术,讲解细致入微,便于自学,可使初学者轻松步入低压电器及其控制技术的天地。

本书可供从事电气工程及自动化、生产过程自动化领域的工程技术人员阅读,也可作为高等学校电气工程、自动控制及机械制造类等专业的实践教学参考书,职业学校相关专业也可选用。

本书由王至秋主编，于艳、高春风、赵丽清任副主编。第一至九章由王至秋编写，第十章及第十六章的第三节由赵丽清编写，第十一、十二章由高春风编写，第十三、十四、十五章及第十六章的第一、二节由于艳编写；全书由王至秋统稿。由于编者水平所限，书中缺点与错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2010年4月

前言

第一章 常用低压电器概述	1
第一节 低压电器的定义及分类	1
一、低压电器的定义	1
二、常用低压电器的分类	1
三、低压电器的命名方法	3
第二节 低压电器的主要技术指标和参数	5
一、有关低压电器主要技术指标与参数的概念	5
二、电气控制技术中常用的图形、文字符号	10
三、对常用低压电器的技术要求	16
第二章 隔离器、闸刀开关和熔断器组合电器	18
第一节 基本概念	18
一、基本概念	18
二、闸刀开关的主要技术参数	19
三、闸刀开关和隔离器的选用	20
四、闸刀开关和隔离器的安装、使用和维护	20
第二节 开启式刀开关	21
一、结构	21
二、适应范围	21
三、特性	22
第三节 开启式负荷开关	23
一、结构	23
二、类型	23
三、开启式负荷开关的选用	24
四、开启式负荷开关的安装、使用和维护	24
第四节 封闭式负荷开关	25
一、结构	25
二、性能	26
三、选用	26
四、安装使用及维护	26
第五节 熔断器式隔离器和隔离开关熔断器组	27
一、熔断器式隔离器	27

二、隔离开关熔断器组	29
第六节 组合开关	30
一、概述	30
二、组合开关的结构和工作原理	30
三、组合开关的选用与使用维护	31
第三章 低压断路器	32
第一节 低压断路器的结构、工作原理及技术标准	32
一、低压断路器的结构	32
二、低压断路器的工作原理	34
三、低压断路器的主要技术参数	38
第二节 常用典型低压断路器简介	39
一、万能框架式断路器	39
二、塑料外壳式断路器	40
三、模数化小型断路器	42
四、剩余电流动作（漏电）保护装置	43
五、智能化断路器	45
第三节 低压断路器、漏电断路器的选用原则及注意事项	49
一、低压断路器的选用	49
二、漏电断路器的选用	49
三、低压断路器使用注意事项	50
第四节 关于系统接地型式的说明	51
一、系统符号说明	51
二、各种接地型式说明	51
第四章 熔断器	53
第一节 概述	53
一、熔断器的特点	53
二、熔断器工作的物理过程	53
三、熔断器的主要技术参数	54
第二节 熔断器的分类及选用	54
一、熔断器的型号含义	54
二、熔断器分类的依据	55
三、常见熔断器简介	55
四、熔断器的应用	61
第五章 继电器	64
第一节 概述	64
一、继电器的定义	64
二、继电器的分类	65
三、继电器的主要技术参数	66
第二节 常用典型继电器简介	67
一、电磁式继电器	67

二、通用直流电磁继电器	68
三、小型电磁继电器	69
四、时间继电器	70
五、温度继电器	75
六、固态继电器	76
七、速度继电器	80
第三节 继电器的选用	81
一、接触器式继电器	81
二、时间继电器	81
三、保护继电器	81
第六章 接触器	83
第一节 概述	83
一、接触器的用途和分类	83
二、接触器的结构及工作原理	83
三、接触器的主要技术参数	84
第二节 常用典型交流接触器简介	85
一、交流接触器	85
二、直流接触器	93
三、智能化接触器	96
第三节 接触器的选用及故障排除	97
一、接触器的选用原则	97
二、接触器常见故障分析	98
第七章 热过载继电器	99
第一节 热过载继电器的分类及工作原理	99
一、热过载继电器的分类	99
二、热过载继电器的工作原理	99
第二节 常用热继电器产品简介	100
一、JR20 系列热继电器	101
二、T (THR-) 系列热继电器	102
三、3UA 系列热继电器	102
四、LR2-D 系列热继电器	103
五、电子式热继电器	103
第三节 三相异步电动机断相运行分析及热继电器的选用	104
一、三相异步电动机断相运行分析	104
二、热继电器的选用	105
第八章 主令电器	106
第一节 控制按钮	106
一、控制按钮的定义及分类	106
二、控制按钮的结构和工作原理	107
三、控制按钮的主要技术数据	108

四、按钮开关的选择、使用和维修·····	108
第二节 行程开关·····	109
一、行程开关的定义及分类·····	109
二、行程开关的结构和工作原理·····	110
三、行程开关的主要技术数据·····	111
四、行程开关的选择、使用和维修·····	111
第三节 接近开关·····	112
一、接近开关的分类和工作原理·····	112
二、接近开关的技术指标·····	114
三、国外接近开关产品简介·····	114
第四节 转换开关·····	116
一、转换开关的分类·····	116
二、转换开关的结构原理及技术参数·····	116
三、转换开关的安装和维修·····	119
第五节 主令控制器·····	119
一、主令控制器的用途·····	119
二、主令控制器的分类·····	119
三、主令控制器的工作原理·····	119
四、主令控制器的主要技术数据·····	120
五、主令控制器的选择、使用和维修·····	121
第六节 指示灯·····	121
一、信号灯的用途与分类·····	122
二、常用信号灯简介·····	122
第九章 起动器·····	124
第一节 概述·····	124
一、起动器的定义及分类·····	124
二、常用起动器的用途·····	124
第二节 电磁起动器·····	125
一、概述·····	125
二、常用电磁起动器的主要技术数据·····	125
第三节 星—三角起动器·····	128
一、星—三角起动器的工作原理和特点·····	128
二、手动星—三角起动器·····	129
三、自动星—三角起动器·····	129
第四节 自耦减压起动器·····	130
一、自耦减压起动器的工作原理和特点·····	130
二、手动式自耦减压起动器·····	131
三、自耦减压起动柜·····	132
第五节 延边三角形起动器·····	134
一、延边三角形起动方式的工作原理·····	134

二、延边三角形起动器的技术数据·····	135
第六节 软起动器·····	135
一、概述·····	135
二、软起动器的工作原理和工作特性·····	137
三、软起动器的用途和优点·····	138
第七节 起动器的选用与维护·····	138
一、起动方式的选择·····	138
二、起动器选用注意事项·····	140
三、起动器的安装与调试·····	141
四、起动器的维护·····	141
第十章 电磁执行机构·····	142
第一节 电磁铁·····	142
一、电磁铁的特性及图形符号·····	142
二、电磁铁的分类及特点·····	143
三、常用电磁铁简介·····	144
四、电磁铁的选用、安装和维护·····	147
第二节 电磁制动器·····	151
一、电磁制动器的结构及分类·····	151
二、常见电磁制动器简介·····	151
第十一章 三相异步电动机的基本控制环节·····	156
第一节 单方向旋转的电路控制·····	156
一、连续运行控制电路·····	156
二、既能连续运行又能点动的控制电路·····	157
三、多地点控制电路·····	157
四、顺序控制电路·····	158
第二节 电动机的正反转控制电路·····	158
一、带电气连锁的正反转控制电路·····	159
二、同时具有电气连锁和机械连锁的正反转控制电路·····	159
第三节 行程控制电路·····	160
第十二章 三相异步电动机的控制电路·····	161
第一节 三相异步电动机的起动控制·····	161
一、星—三角降压起动控制电路·····	161
二、自耦变压器降压起动控制电路·····	161
三、绕线式异步电动机的起动控制·····	163
四、软起动·····	164
第二节 三相异步电动机的制动控制·····	166
一、反接制动控制电路·····	167
二、能耗制动控制电路·····	168
第三节 三相异步电动机的转速控制·····	168
一、变极调速·····	168

二、变压调速·····	169
三、转子串电阻调速·····	169
四、绕线式异步电动机的串级调速·····	170
五、变频调速·····	170
第十三章 可编程控制器 ·····	173
第一节 可编程控制器概述·····	173
一、可编程控制器的由来及发展·····	173
二、可编程控制器的特点及分类·····	175
三、PLC的应用领域及未来发展方向·····	177
第二节 可编程控制器的基本结构及工作原理·····	179
一、可编程控制器的基本结构·····	179
二、可编程控制器的工作原理·····	183
第三节 可编程控制器(PLC)的软件系统的编程语言·····	186
一、PLC的软件系统·····	186
二、PLC的编程语言·····	186
第四节 PLC与继电器及微型计算机控制系统的区别·····	189
一、PLC与继电器控制的区别·····	189
二、PLC与微型计算机系统的区别·····	191
第十四章 电气控制系统与保护环节 ·····	192
第一节 电流型保护·····	192
一、短路保护·····	192
二、过电流保护·····	192
三、过载保护·····	192
四、断相保护·····	194
第二节 电压型保护·····	195
一、失压保护·····	195
二、欠压保护·····	195
三、过电压保护·····	195
第三节 位置控制与保护·····	195
第四节 温度、压力、流量、转速等物理量的控制与保护·····	196
第十五章 电气控制线路分析基础 ·····	198
第一节 电气控制的基本控制方法·····	198
一、电气控制系统的一般功能原理·····	198
二、PID控制·····	199
第二节 电气控制线路分析内容·····	202
第三节 电气原理图阅读分析的方法与步骤·····	203
一、电气原理图分析的方法与步骤·····	203
二、分析举例·····	204
第十六章 电气控制系统设计与安装调试 ·····	207
第一节 电气控制设计基础·····	207

一、电气控制系统设计的基本方法·····	207
二、电气设计中应注意的问题·····	213
第二节 电气控制线路的安装方法·····	215
一、常用电工工具的使用·····	215
二、常用电工仪表的使用·····	219
三、常用电工材料·····	224
四、电气布线·····	236
第三节 低压电气控制系统的调试与故障查找方法·····	237
一、低压电气控制系统的调试方法·····	237
二、电气控制系统故障的查找方法·····	239
参考文献·····	243

常用低压电器概述

第一节 低压电器的定义及分类

一、低压电器的定义

电器是指能够根据外界的要求或所施加的信号,自动或手动地接通或断开电路,从而连续或断续地改变电路的参数或状态,以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备。电器按其工作电压等级可分为高压电器和低压电器两大类。低压电器通常指交流额定电压不超过 1200V、额定频率不超过 1000Hz 或直流额定电压不超过 1500V 的电器。从这一概念来看,我们平常所接触的电器大部分都是低压电器。但本书中仅涉及工业控制中用到的低压电器。

二、常用低压电器的分类

低压电器的分类方法很多,不同的分类方法对应不同的类型。

(一) 按用途分类

1. 配电电器

配电电器主要用于低压配电系统和动力装置中,为用电设备提供电源,包括刀开关、转换开关、断路器和熔断器等。对配电电器的主要技术要求是分断能力强、限流效果和保护性能好、有良好的动稳定性和热稳定性等。

2. 控制电器

控制电器主要用于电力拖动及自动控制系统中,是用以控制用电设备的开关电器及其同控制、测量、保护和调节装置的组合,以及上述电器和装置与互相连接部分、辅件、外壳和支持件的成套设备的通称。控制电器包括接触器、继电器、起动器、控制器、主令电器、电阻器、变阻器和电磁铁等。控制电器的主要技术要求是有一定的转换能力、操作频率高、电气及机械寿命长等。

低压电器的分类及用途见表 1-1。

表 1-1 低压电器的分类及用途

电 器 名 称		主 要 品 种	用 途
配电电器	刀开关	刀开关 熔断器式刀开关 开启式负荷开关 封闭式负荷开关	主要用于电路隔离,也能接通和分断额定电流
	转换开关	组合开关 换向开关	用于两种以上电源或负载的转换和通断电路
	断路器	万能式断路器 塑料外壳式断路器 限流式断路器 漏电保护断路器	用于线路过载、短路或欠压保护,也可用作不频繁接通和分断电路



续表

电 器 名 称	主 要 品 种	用 途
配电电器	熔断器 半封闭插入式熔断器 无填料熔断器 有填料熔断器 快速熔断器 自恢复熔断器	用于线路或电气设备的短路和过载保护
控制电器	接触器 交流接触器 直流接触器	主要用于远距离频繁启动或控制电动机，以及接通和分断正常工作的电路
	继电器 电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热继电器	主要用于控制系统中，控制其他电器或用作主电路的保护等
	起动器 磁力起动器 减压起动器	主要用于电动机的启动和正反向控制
	控制器 凸轮控制器 平面控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的连接方式，以达到电动机启动、换向和调速的目的
	主令电器 控制按钮 行程开关 主令控制器 万能转换开关	主要用于接通和分断控制电路
	电阻器 铁基合金电阻器	用于改变电路的电压、电流等参数或变电能热能
	变阻器 励磁变阻器 启动变阻器 频敏变阻器	主要用于发电机调压以及电动机的减压启动和调速
	电磁铁 起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重、操纵或牵引机械装置

(二) 按工作原理分类

1. 电磁式低压电器

采用电磁原理构成的低压电器元件，称为电磁式低压电器，如接触器、中间继电器、电磁铁、电磁离合器等。

2. 电子式低压电器

利用集成电路或电子元件构成的低压电器元件，称为电子式低压电器，如电子式时间继电器、变频调速器、可编程控制器等。

3. 非电量控制电器

这类电器的感测元件接受的信号是温度、转速、机械力等非电量信号，如行程开关、转速开关等。

(三) 按操作方式分类

1. 自动电器

是指通过电磁或气动机构动作来完成接通、分断、启动和停止等动作的电器，主要包括接触



器、断路器、继电器等。

2. 手动电器

是指通过人力来完成接通、分断、起动和停止等动作的电器，主要包括刀开关、转换开关和主令电器等。

三、低压电器的命名方法

低压电器产品有各种各样的结构和用途，不同类型的产品有着不同的型号表示方法。低压电器的型号一般由类组代号、设计代号、基本规格代号和辅助规格代号等四部分组成，其表示形式及含义如下：

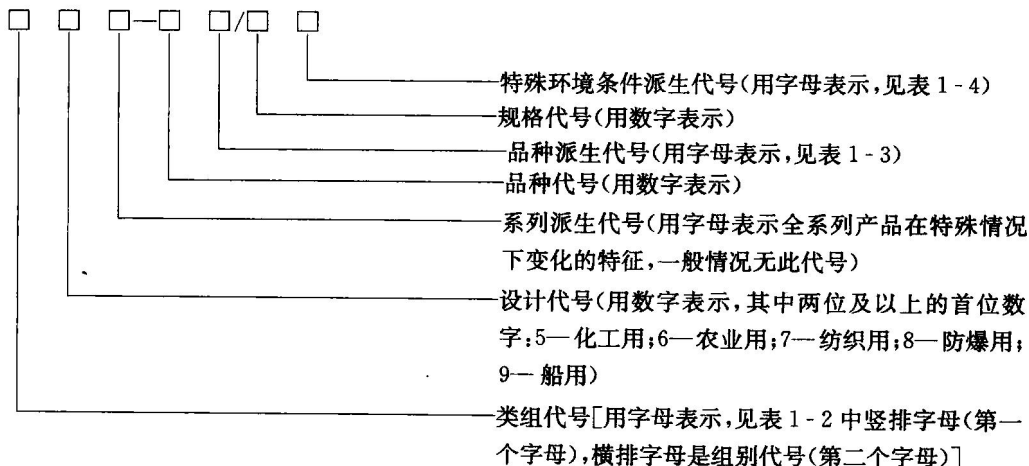


表 1-2

低压电器型号类组代号

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M
H	刀开关和转换开关				刀开关		封闭式 负荷开关		开启式 负荷开关		
R	熔断器			插入式			汇流排式			螺旋式	密闭管式
D	断路器									照明	灭磁
K	控制器					鼓形					
C	接触器					高压		交流			
Q	起动器	按钮式		磁力				减压			
J	继电器									电流	
L	主令电器	控制按钮						接近开关	主令 控制器		
Z	电阻器		板形元件	冲片元件	铁铬铝 带型元件	管形元件					
B	变阻器			旋臂式						励磁	
T	调整器				电压						
M	电磁铁				单相						
A	其他		触电 保护器	插销	信号灯		接线盒			电铃	
H	刀开关和转换开关			熔断器式 刀开关	刀形 转换开关					其他	组合开关



续表

代号	名称	A	B	C	D	G	H	J	K	L	M
R	熔断器				快速	有填料 管式				其他	自复
D	断路器				快速			万能式		其他	塑料 外壳式
K	控制器	平面				凸轮				其他	
C	接触器	中频				通用				其他	中间
Q	起动器				手动					其他	
J	继电器			热	时间	通用		温度		其他	
L	主令电器				主令开关	足踏开关	旋钮	万能 转换开关	行程开关	其他	
Z	电阻器				烧结元件	铸铁元件			电阻器	其他	
B	变阻器	频敏	起动		石墨	起动调速	油浸起动	液体起动	滑线式	其他	
T	调整器										
M	电磁铁		牵引		三相			起重		液压	制动
A	其他										

表 1-3

低压电器型号的通用派生代号

派生字母	代 表 意 义
A、B、C、D...	结构设计稍有改进或变化
J	交流、防溅型、较高通断能力型、节电型
Z	直流、自动复位、防震、重任务、正向、组合式、中性接线柱式
W	无灭弧装置、无极性、失压、外销用
N	可逆、逆向
S	有锁住机构、手动复位、防水式、三相、三个电源、双线圈、保持式、塑料熔管式
P	电磁复位、防滴式、单相、两个电源、电压的、电动机操作
K	开启式
H	保护式、带缓冲装置
M	密封式、灭磁、母线式
Q	防尘式、手车式、柜式
L	电流的、摺板式、漏电保护、单独安装式
F	高返回、带分励脱扣、多纵缝灭弧结构式、防护盖式
X	限流

表 1-4

低压电器型号的特殊环境条件派生代号

派生字母	代表意义	派生字母	代表意义
T	按临时措施制造	G	高原、高电感、高通断能力
TH	湿热带	H	船用
TA	干热带	F	化工防腐用



② 第二节 低压电器的主要技术指标和参数

一、有关低压电器主要技术指标与参数的概念

1. 关于开关电器的通断工作类型

(1) 隔离。隔离指开关电器把电气设备和电源“隔开”的功能，用在对电气设备的带电部分进行维修时确保人员和设备的安全。隔离不仅要求各电流通路之间、电流通路和邻近的接地零部件之间应保持规定的电气间隙，电器的动、静触头之间也应保持规定的电气间隙。能满足隔离功能的开关电器是隔离器。如果在维修期间需要确保电气设备一直处于无电状态，应选用操动机构能在分断位置上锁的隔离器。

(2) 无载（空载）通断。无载通断指接通或分断电路时不分断电流，分开的两触头间不会出现明显电压降的情况。选用无载通断的开关电器时，必须有其他措施可以保证不会出现有载通断的可能性，否则有可能造成事故，损坏设备，甚至危及人身安全。无载通断的开关电器仅在某些专门场所使用，如隔离器。

(3) 有载通断。有载通断是相对于无载通断而言，其开关电器需接通和分断一定的负载电流，具体负载电流的数据随负载类型而异。如有的隔离器产品也能在非故障条件下接通和分断电路，其通断能力应大致和其需要通断的额定电流相同。产品样本中隔离器和熔断器式隔离器的通断能力常按额定电流的倍数给出，因此有些隔离器也能分断各种工作过电流，如电动机的起动电流。

(4) 控制电动机通断。控制电动机通断通常指电动机开关，电动机开关是指用来接通和分断电动机的开关电器或电路，其通断能力应能满足控制按不同工作制（如点动和反接）工作的各种型号电动机的要求。电动机开关有控制开关、电动机用负荷开关、接触器和电动机用断路器及其组合控制电路等。

(5) 在短路条件下通断。在短路条件下通断负载应选用有短路保护功能的开关电器。断路器就是一种不仅可以接通和分断正常负载电流、电动机工作电流和过载电流，而且可以接通和分断短路电流的开关电器。

(6) 通电持续率。电器的有载时间与工作时间之比，常用百分数表示。

(7) 通断能力。开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下接通和分断的预期电流值。

(8) 分断能力。开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下分断的预期分断电流值。

(9) 接通能力。开关电器在规定的条件下，能在给定的电压下接通的预期接通电流值。

(10) I^2t 特性。在规定的条件下的 I^2t 值为预期电流或电压的函数。

2. 有关的电网参数

实际工作中，当选用电器开关时，必须考虑电网参数，即额定电压、额定频率和过电流（短路、过载）等数据。

当按额定绝缘电压 U_i 和额定工作电压 U_N 选用开关电器时，电网电压和电网频率是决定性因素。额定绝缘电压 U_i 是标准电压，指在规定条件下，用来度量电器及其部件的不同电位部分的绝缘强度、电气间隙和爬电距离的名义电压值。除非另有规定，此值一般为电器的最大额定工作电压。各种开关电器及其附件的绝缘等级都根据这个电压确定。某一开关电器的额定工作电压 U_N 是指在规定条件下，保证电器正常工作的电压值，它又和其他一些因素有关。例如，断路器的工作电压就和其通断特性有关，电动机起动器则和工作制及使用类别有关。

在交流三相系统中，线电压或相电压是基础数据。开关电器可根据其特性参数（如通断能力和使用寿命）规定不同的额定工作电压值。但开关电器的最高额定工作电压不得超过其额定绝缘