

普通高等教育矿业工程类专业规划教材

煤矿设备电气控制 与PLC应用技术

PUTONG GAODENG JIAOYU KUANGYE GONGCHENGLI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI
(三菱FX系列、西门子S7-200系列)

王 栋 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、习题解答

普通高等教育矿业工程类专业规划教材

煤矿设备电气控制与 PLC 应用技术（三菱 FX 系列、 西门子 S7-200 系列）

主 编 王 栋

副主编 李保安 郝世宇

参 编 韩变枝 张 海 杨德明



机械工业出版社

本书以项目为导向,采用任务教学的方式组织内容,每个任务来源于实际生产的典型案例,主要内容包括30个由简单到复杂的电气基本控制电路、煤矿机械设备PLC控制编程案例。全书按照“任务导入→相关知识→任务实施→知识拓展”方式展开。通过学习,学生不仅能够掌握电气控制的基本知识和PLC指令系统,而且能够掌握实际PLC控制系统的设计和编程方法。

本书可作为矿山机电、矿山机械、机电一体化、机械制造与自动化以及电气自动化等相关专业的教材,也可供工程技术人员自学使用。

为方便教学,本书配有免费电子课件、思考与习题详解、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的老师,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿设备电气控制与PLC应用技术:三菱FX系列、西门子S7-200系列/王栋主编. —北京:机械工业出版社,2014.1

普通高等教育矿业工程类专业规划教材

ISBN 978-7-111-44887-7

I. ①煤… II. ①王… III. ①plc技术—应用—矿用电气设备—电气控制系统—高等学校—教材 IV. ①TD6-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第279762号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:曹雪伟

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:赵颖喆 责任印制:李洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·474千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-44887-7

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面防伪标均为盗版

前 言

“电气控制与 PLC 应用技术”是矿山机电、矿山机械、机电一体化、机械制造与自动化以及电气自动化专业的核心课程，也是培养学生工程实践能力和创新能力的一门重要课程。编者根据机电岗位的人才培养目标、专业知识结构和能力结构的教學要求，结合多年来的教學经验，采用任务教學的方式组织本书内容。

本书以培养学生的电气控制系统分析和 PLC 编程能力为核心，以项目为导向，工作任务驱动，以三菱 FX 系列 PLC 和西门子 S7-200 系列 PLC 为例，详细介绍了电动机基本控制电路及 PLC 硬件组成、基本指令和功能指令的使用、特殊功能模块和数据通信、PLC 控制系统设计以及 PLC 与触摸屏的综合应用等内容。

全书按照“任务导入→相关知识→任务实施→知识拓展”的思路进行编排，力求把理论知识和实践应用有机地结合在一起。在内容编写方面，共设计了 30 个工作任务，注重难点分散，由简单到复杂、由单项到系统，科学合理地安排教材内容；在文字叙述方面，注意言简意赅、重点突出；在工作任务选取方面，以典型煤矿机械的控制系统为例，注意实用性强、针对性强，有利于拓展学生的思路，培养学生的综合思维能力和工程应用能力；有利于学生由模仿到创新，循序渐进地提高应用能力。

本书每个任务后面都附有一定数量的习题，可以帮助学生进一步巩固基础知识。每个任务的实践性较强，可供学生实验时使用。

本书由太原理工大学阳泉学院王栋担任主编负责全书的选例、设计和统稿工作，并编写项目二、项目八和附录部分；晋中职业技术学院李保安编写项目六；山西煤炭职业技术学院郝世宇编写项目四；太原理工大学阳泉学院杨德明编写项目三、张海编写项目七、韩变枝编写项目一和项目五。我们在编写过程中参阅了大量同类教材，在此对这些教材的作者表示衷心的感谢！同时，对本教材开发进行支持的山西省煤炭职业技术教育发展基金会表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
项目一 常用电气控制电路	1
任务一 认识三相异步电动机典型控制电路	1
一、任务导入	1
二、相关知识	1
(一) 低压电器的基本知识	1
(二) 电气控制电路的绘制与读图	17
三、任务实施	23
(一) 三相异步电动机的点动控制电路	23
(二) 三相异步电动机的连续控制电路	23
(三) 三相异步电动机的点动连续控制电路	24
四、知识拓展——电气控制系统的设计方法	25
思考与练习	27
任务二 三相异步电动机的顺序起动控制电路	27
一、任务导入	27
二、相关知识	28
(一) 低压断路器	28
(二) 万能转换开关	29
(三) 多地控制	31
三、任务实施	31
(一) 主电路的顺序起动控制电路	31
(二) 控制电路的顺序起动控制电路	32
四、知识拓展——剩余电流断路器	33
思考与练习	34
任务三 工作台自动往返控制电路	34
一、任务导入	34
二、相关知识	35
(一) 行程开关	35
(二) 接近开关	37
三、任务实施	39
(一) 控制要求	39
(二) 电路分析	39
四、知识拓展——电气控制电路故障的一般分析方法	40
思考与练习	41
任务四 三相异步电动机的起动控制电路	41
一、任务导入	41
二、相关知识	41
(一) 电磁式继电器	42
(二) 时间继电器	47
三、任务实施	52
(一) 定子串电阻减压起动	52
(二) 自耦变压器减压起动	52
(三) Y- Δ 减压起动	53
四、知识拓展——固态继电器	54
思考与练习	54
任务五 三相异步电动机的制动控制电路	55
一、任务导入	55
二、相关知识	55
(一) 速度继电器	55
(二) 干簧继电器	56
三、任务实施	57
(一) 电动机单向反接制动控制	57
(二) 电动机可逆运行反接制动控制	58
(三) 电动机单向运行能耗制动控制	59
(四) 电动机可逆运行能耗制动控制	59
(五) 无变压器单管能耗制动控制	60
四、知识拓展——电磁抱闸机械制动	61
思考与练习	61
项目二 FX _{2N} 系列 PLC 基础	62
任务一 认识 PLC	62
一、任务导入	62
二、相关知识	63
(一) PLC 的产生和定义	63
(二) PLC 的应用范围与特点	65
(三) PLC 的基本结构与组成	67

(四) PLC 的工作原理·····	68	二、相关知识·····	99
(五) PLC 的分类·····	72	(一) 辅助继电器·····	99
(六) PLC 的性能指标·····	73	(二) 定时器·····	100
三、任务实施·····	74	三、任务实施·····	101
(一) FX 系列 PLC 的型号和基本 构成·····	74	(一) 端口配置·····	101
(二) PLC 的输入/输出方式·····	75	(二) 程序设计·····	102
(三) PLC 的常用编程语言·····	77	四、知识拓展·····	102
四、知识拓展——常用 PLC 介绍及发展 趋势·····	80	(一) 定时器与定时器级联·····	102
(一) 常用 PLC 介绍·····	80	(二) 频闪电路·····	102
(二) PLC 的发展趋势·····	81	(三) 延时接通断开电路·····	103
思考与练习·····	81	思考与练习·····	103
任务二 三相异步电动机正反转控制程序的 设计·····	81	任务五 仓库产品数量监控程序的设计·····	103
一、任务导入·····	81	一、任务导入·····	103
二、相关知识·····	82	二、相关知识·····	104
(一) 输入继电器和输出继电器·····	82	(一) 计数器的分类·····	104
(二) FX _{2N} 系列 PLC 的基本编程 指令·····	82	(二) 计数器的使用说明·····	104
三、任务实施·····	86	三、任务实施·····	105
(一) 端口配置·····	86	(一) 端口配置·····	105
(二) 程序设计·····	86	(二) 程序设计·····	105
四、知识拓展——常闭触点输入的编程 处理·····	86	四、知识拓展——定时器与计数器 级联·····	105
思考与练习·····	87	思考与练习·····	106
任务三 多地控制电动机起动控制程序的 设计·····	87	任务六 电动机单按钮起停控制程序的 设计·····	106
一、任务导入·····	87	一、任务导入·····	106
二、相关知识·····	88	二、相关知识·····	106
(一) ORB 指令·····	88	(一) PLS、PLF 指令用法·····	106
(二) ANB 指令·····	88	(二) PLS、PLF 指令说明·····	107
三、任务实施·····	89	三、任务实施·····	107
(一) 端口配置·····	89	四、知识拓展·····	108
(二) 程序设计·····	89	(一) ALT 指令·····	108
四、GX Developer 编程软件·····	89	(二) LDP、LDF、ANDP、ANDF、 ORP、ORF 指令·····	108
五、知识拓展——梯形图的编程规则·····	97	(三) 光敏自动冲水设备控制程序·····	108
(一) 梯形图的特点·····	97	思考与练习·····	109
(二) 梯形图的编程规则·····	97	任务七 三相异步电动机减压起动控制程序 的设计·····	109
思考与练习·····	98	一、任务导入·····	109
任务四 三台电动机顺序起动控制程序的 设计·····	98	二、相关知识·····	110
一、任务导入·····	98	(一) MPS、MPP、MRD 指令的用法·····	110
		(二) MPS、MPP、MRD 指令的说明·····	111
		三、任务实施·····	111
		(一) 端口配置·····	111

(二) 程序设计	111	重复	126
四、知识拓展——MC、MCR 主控		(一) 部分重复的编程	126
指令	111	(二) 同一分支内跳转的编程	126
(一) MC、MCR 指令的应用	111	(三) 跳转到另一分支的编程	126
(二) MC、MCR 指令的说明	112	思考与练习	128
思考与练习	113	项目三 FX_{2N} 系列 PLC 的特殊功能	
任务八 自动运料小车控制程序的设计	113	模块与数据通信	129
一、任务导入	113	任务一 电热水器温度控制	129
二、相关知识	114	一、任务导入	129
(一) 状态继电器	114	二、相关知识	129
(二) 顺序功能图	114	(一) FROM、TO 指令	129
(三) 步进指令 STL、RET	116	(二) 特殊功能模块的分类	131
(四) 顺序功能图与步进梯形图转换	116	(三) 模拟量输入模块 FX _{2N} -2AD	131
三、任务实施	117	(四) 模拟量输出模块 FX _{2N} -2DA	133
(一) 端口配置	117	三、任务实施	136
(二) 确定顺序功能图的步数	117	(一) 端口配置	136
(三) 确定每步的功能	117	(二) 程序设计	136
(四) 确定每步的转移条件	118	四、知识拓展——FX _{2N} -2DA 特殊功能	
(五) 绘制顺序功能图及转换梯形图	118	模块的应用	137
四、知识拓展——步进梯形图的编程		思考与练习	137
规则	119	任务二 PLC 数据通信	138
思考与练习	120	一、任务导入	138
任务九 自动门控制程序的设计	120	二、相关知识	138
一、任务导入	120	(一) 通信基础	138
二、相关知识	121	(二) PLC 的通信功能	141
(一) 选择分支	121	(三) N: N 网络通信	141
(二) 选择分支的编程	121	(四) 并联链接通信	143
三、任务实施	121	(五) 计算机连接通信	144
(一) 端口配置	121	(六) 无协议通信	146
(二) 功能顺序图的设计	122	三、任务实施	146
(三) 将顺序功能图转换为梯形图	122	(一) N: N 网络的设置	146
四、知识拓展——步进梯形图程序中		(二) 通信用软元件	146
电动机的过载保护	123	(三) 程序设计	146
思考与练习	124	四、知识拓展——PLC 网络	148
任务十 交通灯控制程序设计	124	(一) PLC 网络介绍	148
一、任务导入	124	(二) 生产金字塔结构与 PLC 网络	
二、相关知识	125	结构	148
(一) 并行分支	125	(三) PLC 联网的主要形式	149
(二) 并行分支的编程	125	(四) 三菱公司的 PLC 网络	149
三、任务实施	125	(五) 三菱 PLC 及网络在汽车装配生产	
(一) 端口配置	125	线中的应用	151
(二) 程序设计	126	思考与练习	152
四、知识拓展——SFC 编制程序的跳转或			

项目四 FX_{2N}系列 PLC 功能指令的	
应用	153
任务一 煤矿组合开关控制程序的设计	153
一、任务导入	153
二、相关知识	155
(一) FX 系列 PLC 的功能指令概述	155
(二) FX 系列 PLC 的功能指令	157
三、任务实施	167
(一) 过载电流、断相电流、短路电	
流和相不平衡电流保护程序的	
设计	167
(二) 控制程序设计	169
四、知识拓展——高速处理指令	171
思考与练习	174
任务二 煤矿主通风机控制程序的设计	174
一、任务导入	174
二、相关知识	175
(一) 触点比较指令 (FNC224 ~	
FNC246)	175
(二) 浮点数运算指令	176
三、任务实施	177
(一) 控制要求	177
(二) 控制方案	177
(三) 端口配置	177
(四) 程序设计	177
四、知识拓展——其他功能指令	179
思考与练习	186
项目五 S7-200 系列 PLC 基础	187
任务一 输送带运输机控制程序的设计	187
一、任务导入	187
二、相关知识	187
(一) S7-200 系列 PLC 性能简介	187
(二) S7-200 系列 PLC 的内存结构	188
(三) S7-200 系列 PLC 的指令编址方式	
及寻址方式	190
(四) S7-200 系列 PLC 的基本指令	
系统	192
三、任务实施	196
(一) 控制要求	196
(二) 端口配置	197
(三) 程序设计	197
四、知识拓展——移位操作指令	197
思考与练习	200
任务二 电牵引采煤机控制程序的设计	200
一、任务导入	200
二、相关知识	201
(一) S7-200 系列 PLC 的操作指令	201
(二) S7-200 系列 PLC 的功能指令	205
三、任务实施	210
(一) 控制要求	210
(二) 端口配置	212
(三) 程序设计	213
四、知识拓展——程序控制指令	214
思考与练习	216
任务三 煤矿局扇控制系统的设计	216
一、任务导入	216
二、相关知识	217
(一) 子程序操作指令	217
(二) 顺序控制继电器指令	218
(三) S7-200 系列 PLC 的功能指令	218
三、任务实施	222
(一) 控制要求	222
(二) 系统设计	223
四、知识拓展——表功能指令	227
思考与练习	228
任务四 煤矿井下水泵控制程序设计	229
一、任务导入	229
二、相关知识	229
(一) PID 运算控制	229
(二) PID 控制器的优点	230
(三) PID 调节指令格式及功能	230
(四) PID 回路表的格式及初始化	231
三、任务实施	232
(一) 控制要求	232
(二) PID 回路参数	232
(三) 程序设计	232
四、知识拓展——PID 向导的应用	233
思考与练习	235
项目六 PLC 与变频器应用	236
任务一 电动机多速运行控制系统的设计	236
一、任务导入	236
二、相关知识	236
(一) 三相异步交流电动机的调速	236
(二) 变频器	238

三、任务实施	242	二、相关知识	261
(一) 控制要求	242	(一) PLC 程序设计常用的方法	261
(二) 变频器的参数设置	242	(二) 用辅助继电器实现顺序控制	262
(三) 端口配置	243	三、任务实施	263
(四) 控制程序	243	(一) 控制系统描述	263
四、知识拓展——变频器与 PLC 的 连接	243	(二) 系统配置	264
思考与练习	245	(三) 设计功能流程图	264
任务二 矿井提升机变频调速控制系统的 设计	245	(四) 通用继电器配置	265
一、任务导入	245	(五) 梯形图设计	266
二、相关知识	246	四、知识拓展——可编程控制器的 使用	267
(一) 变频器的选择	246	(一) 可编程控制器的安装环境	267
(二) 变频器系统器件的选择	246	(二) 可编程控制器的安装与接线	268
三、任务实施	246	思考与练习	269
(一) 控制要求	246	任务三 煤矿空压机控制系统的设计	270
(二) 控制方案设计	247	一、任务导入	270
(三) 程序设计	247	二、相关知识	270
四、知识拓展——变频器的操作面板与 参数设定	253	(一) PLC 技术改造	270
(一) 变频器的操作面板	253	(二) PLC 移植设计法	271
(二) 变频器的参数设定方法	254	三、任务实施	273
思考与练习	255	(一) 控制要求	273
项目七 PLC 控制系统设计	256	(二) 端口配置	274
任务一 煤矿液压支架控制系统的设计	256	(三) 程序设计	274
一、任务导入	256	(四) 程序说明	274
二、相关知识	256	四、知识拓展——可编程控制器的维护 和检修	275
(一) PLC 控制系统的设计原则	256	思考与练习	276
(二) PLC 控制系统的设计内容及设计 步骤	256	项目八 PLC 与触摸屏的综合应用	277
(三) PLC 控制系统的硬件设计和软件 设计及调试	257	任务一 触摸屏控制电动机的 Y- Δ 减压 起动	277
三、任务实施	258	一、任务导入	277
(一) 工作过程	258	二、相关知识	277
(二) 控制要求	259	(一) 触摸屏的结构与功能	277
(三) 系统设计	259	(二) 三菱 F940 GOT 的基本工作 模式	277
(四) 程序设计	259	(三) GT Designer Ver. 5 画面制作软件 介绍	278
四、知识拓展——PLC 减少输入/输出 点数的方法	259	三、任务实施	280
思考与练习	261	(一) 端口配置	280
任务二 专用钻床旋转工作台控制系统的 设计	261	(二) 程序设计	280
一、任务导入	261	(三) 触摸屏画面设计	281
		四、知识拓展——计算机和触摸屏在 PLC 网络中的作用	285

思考与练习	285	四、知识拓展——PLC 自动控制和组态 软件	287
任务二 矿井通风机触摸屏监控画面的 设计	286	思考与练习	290
一、任务导入	286	附录	291
二、相关知识	286	附录 A FX _{2N} 系列 PLC 软元件一览表	291
(一) 通过触摸键实现画面切换	286	附录 B FX 系列 PLC 基本指令一览表	292
(二) 通过 PLC 程序实现画面切换	287	附录 C FX 系列 PLC 功能指令一览表	293
三、任务实施	287	附录 D S7-200 系列 PLC 指令一览表	295
(一) 触摸屏画面设计	287	参考文献	297
(二) 画面切换程序设计	287		

项目一 常用电气控制电路

【能力目标】

1. 能够根据相关控制要求，熟练地画出电气原理图，并选用适当的低压电器。
2. 能熟练识读电气图样。

【知识目标】

1. 掌握常用低压电器在控制电路中的作用，熟悉其基本结构、工作原理和选用原则。
2. 掌握电气控制电路的绘制原则和标准。
3. 掌握三相异步电动机基本控制电路的工作原理。

任务一 认识三相异步电动机典型控制电路

一、任务导入

三相异步电动机的手动控制电路如图 1-1 所示。当合上刀开关时，电动机运行；当断开刀开关时，电动机停止运行。此电路比较简单，但由于刀开关在合上、断开时易产生弧光，严禁带负荷操作。刀开关在电路中仅起隔离电源的作用。因此。在起动、停车频繁的场所，使用这种手动控制方法既不方便，也不安全，操作劳动强度大，并且不能进行远距离自动控制。那么，采用什么方法才能实现自动控制呢？这就需要采用按钮和接触器等低压电器来控制电动机的起动和停止。

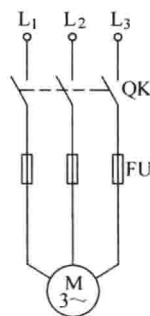


图 1-1 三相异步电动机手动控制电路

二、相关知识

(一) 低压电器的基本知识

电器是指一种在电能的产生、输送、分配和应用中，能够起到开关、控制、调节和保护作用的电路设备。

低压电器是指用于交流 1200V、直流 1500V 以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。

高压电器是指用于交流 1200V、直流 1500V 及以上的电器产品。

1. 低压电器的基本分类

(1) 按操作方式分

- 1) 手动电器：通过人力操作而动作的电器，如刀开关、按钮、转换开关等。
- 2) 自动电器：按照信号或某个物理量的变化而自动动作的电器，如低压断路器、接触器、继电器等。

(2) 按控制作用分

- 1) 执行电器：用来完成某种动作或传递功率，如电磁铁。
- 2) 控制电器：用来控制电路的通断，如开关、按钮、继电器、接触器等。
- 3) 主令电器：用来控制其他自动电器的动作，以发出控制“指令”，如按钮、转换开关等。
- 4) 保护电器：用来保护电源、电路及用电设备，使用电设备不致在短路、过载状态下运行，免遭损坏，如熔断器、热继电器等。

(3) 按用途分

- 1) 低压配电电器：如刀开关、低压断路器、熔断器等。
- 2) 低压控制电器：如接触器、继电器、起动机、按钮等。

(4) 按动作原理分

- 1) 电磁式电器：利用电磁铁原理工作，如接触器、继电器等。
- 2) 非电磁式电器：依靠外力（人力或机械力）或某种非电量的变化而动作的电器，如行程开关、按钮、速度继电器、热继电器等。

2. 刀开关

刀开关是一种手动电器，在低压电路中用于非频繁接通和分断电路，或用于隔离电源。刀开关可分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关。

(1) 刀开关的结构和电气符号 常用刀开关的外形和结构如图 1-2 所示，装有熔断器的刀开关如图 1-3 所示。

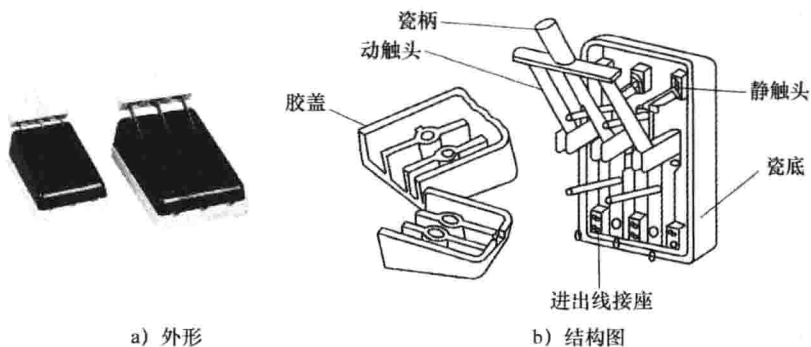


图 1-2 刀开关的外形和结构图

刀开关的电气符号和文字符号如图 1-4 所示。



图 1-3 带熔断器刀开关

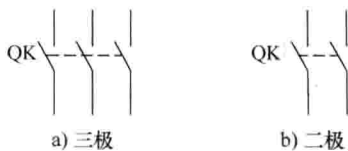
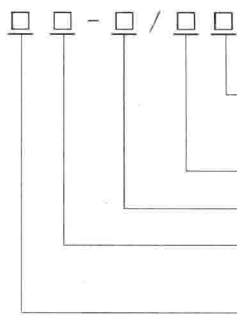


图 1-4 刀开关的电气符号和文字符号

(2) 刀开关型号 刀开关的型号说明：



灭弧室及接线方式：0—不装灭弧室；1—装灭弧室；8—不装灭弧室，板前接线方式；9—不装灭弧室，板后接线方式

极数：1—单极；2—双极；3—三极

额定电流 (A)

操作方式：11—中央手柄式；12—侧方正面杠杆操作机构式；13—中央正面杠杆操作机构式；14—侧面手柄式

刀开关型号：HD—单投刀开关；HS—双投刀开关

(3) 刀开关的种类和选择 刀开关种类很多。HK1、HK2 系列开启式负荷开关（俗称胶壳刀开关），用作电源开关和小容量电动机非频繁起动的操作开关，主要结构有与操作手柄相连的动静触头刀座、进出线接线座、瓷底和胶盖组成，如图 1-2 所示。当刀闸合上时，操作人员不会接触带电部分。胶盖的保护作用有：将各电极隔开，防止因极间飞弧导致电源短路；防止电弧飞出盖外，灼伤操作人员；防止金属零件掉落在刀闸上形成极间短路。正常情况下，用于照明电路时可选用额定电压 220V 或 250V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的二极开关；用于电动机的直接起动，可选用额定电压为 380V 或 500V，额定电流等于或大于电动机额定电流 3 倍的三极开关，具体性能参数见表 1-1。

表 1-1 HK1 系列开启式负荷刀开关的技术参数

额定电流量/A	极数	额定电压值/V	可控制电动机最大容量值/kW		触刀极限分断能力/A ($\cos\varphi = 0.6$)	熔丝极限分断能力/A	配用熔丝规格			
			220V	380V			熔丝成分			熔丝直径/mm
							WPb	WSn	WSb	
15	2	220	—	—	30	500				1.45 ~ 1.59
30	2	220	—	—	60	1000	98%	1%	1%	2.3 ~ 2.52
60	2	220	—	—	90	1500				3.36 ~ 4.00
15	3	380	1.5	2.2	30	500	98%	1%	1%	1.45 ~ 1.59
30	3	380	3.0	4.0	60	1000				2.3 ~ 2.52
60	3	380	4.4	5.5	90	1500				3.36 ~ 4.00

HH3、HH4 系列封闭式负荷开关（俗称铁壳开关），用于非频繁起动、28kW 以下的三相异步电动机。铁壳开关主要由钢板外壳、触刀、操作机构、熔丝等组成，如图 1-5 所示。操作机构具有两个特点：一是采用储能合闸方式，在手柄转轴与底座间装有速断弹簧，以执行合闸和分闸，在速断弹簧作用下，动触刀与静触刀分离，使电弧迅速拉长而熄灭；二是具有机械联锁，当铁盖打开时，刀开关被卡住，不能进行合闸操作。铁盖合上后，操作手柄使开关合闸后，铁盖不能被打开。选用封闭式负荷开关时，刀的极数要与电源进线相数相等；开关的额定电压应大于所控制

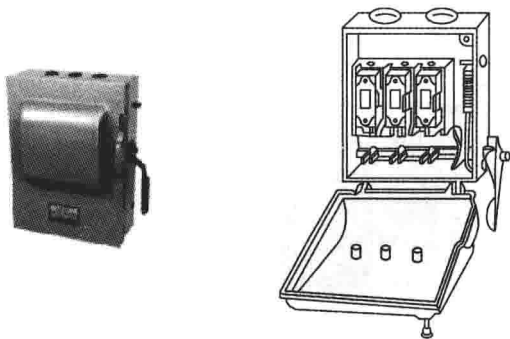


图 1-5 铁壳开关结构图

的电路的额定电压；刀开关的额定电流应大于负载的额定电流。用于控制电动机工作时，考虑到电动机的起动电流较大，应使开关的额定电流不小于电动机额定电流的 3 倍，主要性能参数见表 1-2。

表 1-2 HH10 系列封闭式负荷开关的性能参数

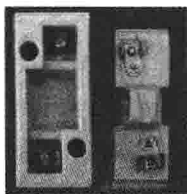
产品系列	负荷开关额定电流/A	熔断器额定电流/A	熔体额定电流/A	极限分断能力 ($1.1U_N$ 、50Hz)				极限接通分断能力 ($1.1U_N$ 、50Hz)				机械寿命/次	电气寿命 (额定电压额定电流)		
				U_N /V	熔断器形式	极限分断能力/A	功率因数	分断次数	U_N /V	通断电流/A	功率因数		试验条件	试验条件	次数
HH10	10	10	2,4,6,10	440	瓷插式	750	0.8	3	440	40	0.4	操作频率 1 次/min; 通电时间不超过 2s; 接通与分断 10 次	>10000	功率因数 0.8; 操作频率 2 次/min; 通电时间不超过 2s	>5000
	20	20	10,15,20		瓷插式	1500	0.8			80					
					RT10	50000	0.25								
	30	30	20,25,30		瓷插式	2000	0.8			120					
					RT10	50000	0.25								
	60	60	30,40,50,60		瓷插式	4000	0.8			240					
					RT10	50000	0.25								
	100	100	60,80,100		瓷插式	4000	0.8			250					
					RT10	50000	0.25								

(4) 刀开关的使用 刀开关必须垂直安装在控制屏或开关板上，不能倒装，即接通状态时手柄朝上，否则有可能在分断状态时刀闸开关松动落下，造成误接通。接线时，应将电源线接在上端，负载接在熔丝下端，拉闸后刀开关与电源隔离，便于更换熔丝。操作开启式负荷开关时，不能带重负载，因为这种刀开关不设专门的灭弧装置，仅是利用胶盖的掩护防止电弧灼伤。如果带一般性负载操作，动作应迅速，使电弧迅速熄灭，一方面不易灼伤人手，另一方面也减少电弧对动触头和静触头座的损坏。

3. 熔断器

熔断器是一种简单而有效的保护电器，在电路中主要起短路保护作用。

(1) 功能与结构 熔断器主要由熔体（俗称保险丝）和安装熔体的熔管两部分组成。熔体由易熔金属材料铅、锡、锌、银、铜及其合金制成，通常做成丝状或片状。熔管是装熔体的外壳，由陶瓷、绝缘钢纸或玻璃纤维制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。熔断器按结构形式可分为瓷插式、螺旋式、无填料封闭管式、有填料封闭管式等类别，如图 1-6 所示。



a) 瓷插式



b) 螺旋式



c) 无填料密封管式



d) 有填料密封管式

图 1-6 常用熔断器

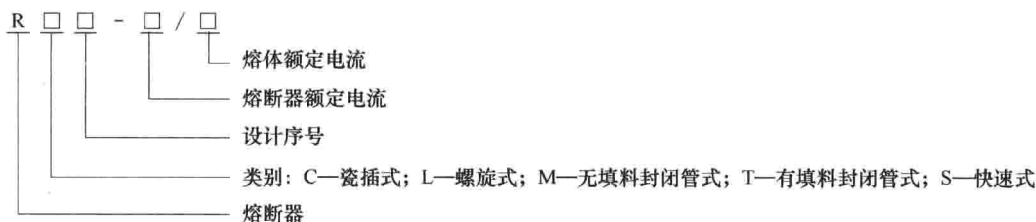
(2) 工作原理 熔断器的熔体与被保护的电路串联,当电路正常工作时,熔体允许通过一定大小的电流而不熔断。当电路发生短路或严重过载时,熔体中流过很大的故障电流,当电流产生的热量达到熔体的熔点时,熔体熔断切断电路,从而实现保护目的。

(3) 型号与性能参数

图 1-7 熔断器的电气符号和文字符号

1) 熔断器的电气符号和文字符号如图 1-7 所示。

熔断器的型号说明:



2) 熔断器的主要特性和技术参数。熔断器的主要特性有两个:安秒特性和极限分断能力。

安秒特性表示熔断时间 t 与通过熔体的电流 I 的关系。熔断器的安秒特性曲线如图 1-8 所示。

熔断器的安秒特性为反时限特性,即短路电流值越大,熔断时间越短,以满足短路保护的要求。在特性中,有一个熔断电流与不熔断电流的分界线,与此对应的电流称为最小熔断电流 I_{\min} 。熔体在额定电流 I_{NP} 下,绝不应熔断,所以最小熔断电流必须大于额定电流。

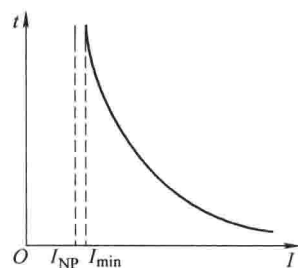


图 1-8 熔断器的安秒特性曲线

极限分断能力是指在额定电压及一定功率因数(或时间常数)下切断短路电流的极限能力,常用极限断开电流值(周期分量的有效值)来表示。熔断器的极限分断能力必须大于线路中可能出现的最大短路电流。

3) 熔断器的主要技术参数见表 1-3。

表 1-3 熔断器的主要技术参数

型号	熔断器额定电流/A	额定电压/V	熔体额定电流/A	熔体分断电流/kA
RC1A-5	5	380	1,2,3,5	300($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-10	10	380	2,4,6,8,10	500($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-15	15	380	6,10,12,15	500($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-30	30	380	15,20,25,30	1500($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-60	60	380	30,40,50,60	3000($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-100	100	380	60,80,100	3000($\cos\varphi=0.4$)
RC1A-200	200	380	100,120,150,200	3000($\cos\varphi=0.4$)
RL1-15	15	380	2,4,5,10,15	25($\cos\varphi=0.35$)
RL1-60	60	380	20,25,30,35,40,50,60	25($\cos\varphi=0.35$)

(续)

型号	熔断器额定电流/A	额定电压/V		熔体额定电流/A	熔体分断电流/kA	
RL1-100	100	380		60, 80, 100	50 (cosφ = 0.25)	
RL1-200	200	380		100, 125, 150, 200	50 (cosφ = 0.25)	
RT0-50	50	(AC) 380	(DC) 440	5, 10, 15, 20, 30, 40, 50	(AC) 50	(DC) 25
RT0-100	100	(AC) 380	(DC) 440	30, 40, 50, 60, 80, 100	(AC) 50	(DC) 25
RT0-200	200	(AC) 380	(DC) 440	80, 100, 120, 150, 200	(AC) 50	(DC) 25
RT0-400	400	(AC) 380	(DC) 440	150, 200, 250, 300, 350, 400	(AC) 50	(DC) 25
RM10-15	15	220		6, 10, 15	1.2	
RM10-60	60	220		15, 20, 25, 36, 45, 60	3.5	
RM10-100	100	220		60, 80, 100	10	
RS3-50	50	500		10, 15, 30, 50	50 (cosφ = 0.3)	
RS3-100	100	500		80, 100	50 (cosφ = 0.5)	
RS3-200	200	500		150, 200	50 (cosφ = 0.5)	
NT0	160	500		6, 10, 20, 50, 100, 160	120	
NT1	250	500		80, 100, 200, 250	120	
NT2	400	500		125, 160, 200, 300, 400	120	
NT3	630	500		315, 400, 500, 630	120	
NGT0	125	380		25, 32, 80, 100, 125	100	
NCT1	250	380		100, 160, 250	100	
NCT2	400	380		200, 250, 355, 400	100	

(4) 选用原则 熔断器用于不同性质的负载, 其熔体额定电流的选用方法也不同。熔断器类型的选择应根据线路的要求、使用场合和安装条件来进行。熔断器的额定电压应大于或等于线路的工作电压。熔断器的额定电流必须大于或等于所装熔体的额定电流。对于熔体电流的选择, 应考虑以下几种情况:

1) 对于电炉、照明等电阻性负载的短路保护, 熔体的额定电流等于或稍大于电路的工作电流。

2) 在配电系统中, 通常有多级熔断器保护, 发生短路故障时, 远离电源端的前级熔断器应先熔断。所以一般后一级熔体的额定电流比前一级熔体的额定电流至少大一个等级, 以防止熔断器越级熔断而扩大停电范围。

3) 保护单台电动机时, 考虑到电动机受起动电流的冲击, 熔断器的额定电流应为

$$I_{NP} = (1.5 \sim 2.5) I_{NM}$$

式中, I_{NP} 为熔体额定电流; I_{NM} 为电动机额定电流, 轻载起动或起动时间短时, 系数可取近 1.5, 带重载起动或起动时间较长时, 系数可取 2.5。

4) 保护多台电动机, 熔断器的额定电流为

$$I_{NP} = (1.5 \sim 2.5)I_{NM\max} + \sum I_{NM}$$

式中, $I_{NM\max}$ 为容量最大的一台电动机的额定电流; $\sum I_{NM}$ 为其余电动机额定电流之和。

5) 在整流电路中, 快速熔断器接在交流侧或直流侧电路时, 有

$$I_{NP} \geq k_1 I$$

式中, k_1 为与整流电路形式有关的系数; I 为最大整流电流。

在不可控整流电路中, k_1 只与整流电路的形式有关, 不可控整流电路的 k_1 值见表 1-4。在可控整流电路中, k_1 不但与电路形式有关, 而且与导通角有关, 可控整流电路的 k_1 值见表 1-5。

表 1-4 不可控整流电路的 k_1 值

电路形式	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式	双星形六相
k_1	1.57	0.785	1.11	0.575	0.816	0.29

表 1-5 可控整流电路的 k_1 值

电路形式	导通角 k_1					
	180°	150°	120°	90°	60°	30°
单相半波	1.57	1.66	1.88	2.22	2.78	3.99
单相桥式	1.11	1.17	1.33	1.57	1.97	2.82
三相桥式	0.816	0.828	0.865	1.03	1.29	1.88

6) 快速熔断器接入整流桥臂与整流元件串联时, 有

$$I_{NP} \geq 1.5I_N$$

式中, I_N 为整流元件额定电流。

4. 接触器

接触器是电力拖动和自动控制系统中普遍使用的低压控制电器, 用来频繁地接通和分断交直流主回路和大容量控制电路。主要控制对象是电动机, 能实现远距离控制, 并具有欠(零)电压保护功能。

(1) 主要结构 接触器属于电磁式低压电器, 主要由电磁系统、触头系统和灭弧装置组成, 其结构示意图如图 1-9 所示。

1) 电磁系统。电磁系统是电磁式电器元件的感受部件, 主要作用是将电磁能转换为机械能, 并带动触头闭合或断开。通常采用电磁铁的形式, 由电磁线圈、静铁心(铁心)、动铁心(衔铁)等组成, 其中, 动铁心与动触头支架相连。根据铁心形状和衔铁的运动方式, 电磁系统可分为三种: 衔铁直线运动螺管式、衔铁绕棱角转动拍合式、衔铁绕轴转动拍合式, 如图 1-10 所示。

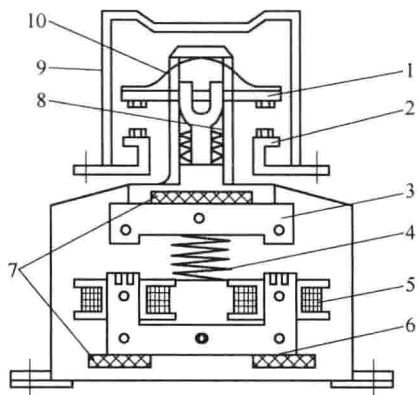


图 1-9 接触器结构示意图

- 1—动触头 2—静触头 3—衔铁
4—缓冲弹簧 5—电磁线圈 6—铁心
7—毡垫 8—触头弹簧
9—灭弧罩 10—触头压力弹簧片