



教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目

《机械设计制造及其自动化》专业职教师资培养资源开发 (VTNE008)

机械电气控制与PLC

陈婵娟 主编



化学工业出版社



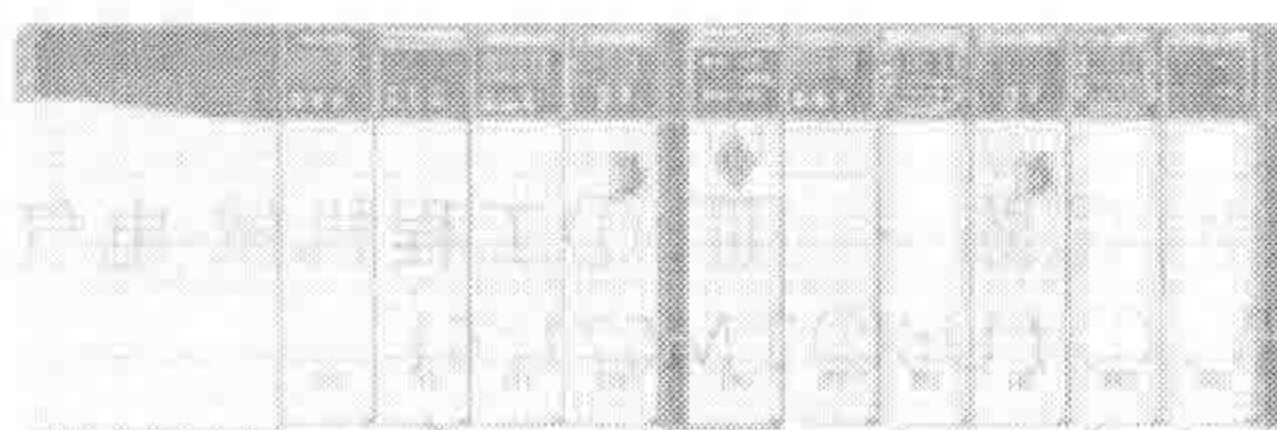
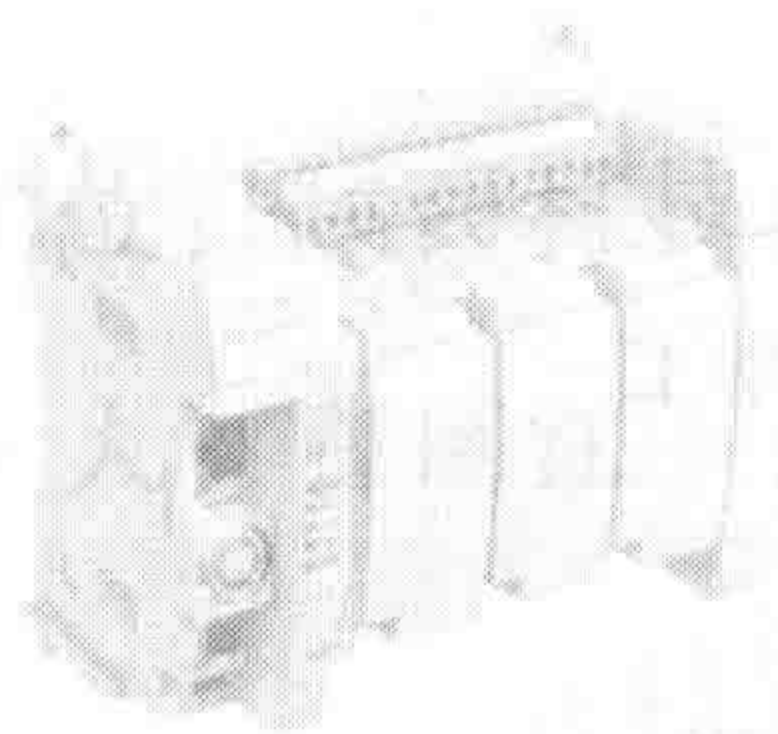
教育部 财政部职业院校教师素质提高计划成果系列丛书

教育部 财政部职业院校教师素质提高计划职教师资培养资源开发项目

《机械设计制造及其自动化》专业职教师资培养资源开发 (VTNE008)

机械电气控制与PLC

陈婵娟 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书根据教育部 财政部“职业院校教师素质提高计划”及职业师资人才培养目标和能力素养要求，对现有的课程教学进行有机整合编写而成。本书共设 5 章：第 1 章和第 2 章重点介绍了常用低压电气控制系统；第 3 章~第 5 章介绍了 PLC 的基础知识，并以广泛应用的 S7-200PLC 为背景，通过项目学习，系统介绍了 PLC 的系统配置、指令系统、编程软件、程序设计方法和 PLC 控制系统的设计实例。

本书以项目为导向，大量汲取工程与教学实际中积累的成果，系统性强、阐述清楚、由浅入深、通俗易懂，每章末尾附有思考题，便于教学与自学。

本书可作为职教师资本科机械设计制造及其自动化专业教材，也可作为高等院校、职业教育相关专业的教材及工程技术人员参考用书和自学资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械电气控制与 PLC/陈婵娟主编. —北京：化学工业出版社，2017.6

ISBN 978-7-122-29690-0

I. ①机… II. ①陈… III. ①工程机械-电气控制
②PLC 技术 IV. ①TU6②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 106114 号

责任编辑：曾 越 张兴辉

责任校对：王素芹

装帧设计：韩 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京市振南印刷有限责任公司

装 订：北京市国马装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 431 千字 2017 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：58.00 元

版权所有 违者必究

项目专家指导委员会

主 任：刘来泉

副主任：王宪成 郭春鸣

成 员：（按姓氏笔画排列）

刁哲军 王继平 王乐夫 邓泽民 石伟平 卢双盈

汤生玲 米 靖 刘正安 刘君义 孟庆国 沈 希

李仲阳 李栋学 李梦卿 吴全全 张元利 张建荣

周泽扬 姜大源 郭杰忠 夏金星 徐 流 徐 朔

曹 晔 崔世钢 韩亚兰

项目牵头单位：陕西科技大学

项目 负责人：曹巨江

出版说明

《国家中长期教育改革和规划纲要（2010—2020年）》颁布实施以来，我国职业教育进入到加快构建现代职业教育体系、全面提高技能型人才培养质量的新阶段。加快发展现代职业教育，实现职业教育改革发展新跨越，对职业学校“双师型”教师队伍建设提出了更高的要求。为此，教育部明确提出，要以推动教师专业化为引领，以加强“双师型”教师队伍建设为重点，以创新制度和机制为动力，以完善培养培训体系为保障，以实施素质提高计划为抓手，统筹规划，突出重点，改革创新，狠抓落实，切实提升职业院校教师队伍整体素质和建设水平，加快建成一支师德高尚、素质优良、技艺精湛、结构合理、专兼结合的高素质专业化的“双师型”教师队伍，为建设具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系提供强有力的师资保障。

目前，我国共有60余所高校正在开展职教师资培养，但由于教师培养标准的缺失和培养课程资源的匮乏，制约了“双师型”教师培养质量的提高。为完善教师培养标准和课程体系，教育部、财政部在“职业院校教师素质提高计划”框架内专门设置了职教师资培养资源开发项目，中央财政划拨1.5亿元，系统开发用于本科专业职教师资培养标准、培养方案、核心课程和特色教材等系列资源。其中，包括88个专业项目，12个资格考试制度开发等公共项目。该项目由42家开设职业技术师范专业的高等学校牵头，组织近千家科研院所、职业学校、行业企业共同研发，一大批专家学者、优秀校长、一线教师、企业工程技术人员参与其中。

经过三年的努力，培养资源开发项目取得了丰硕成果。一是开发了中等职业学校88个专业（类）职教师资本科培养资源项目，内容包括专业教师标准、专业教师培养标准、评价方案，以及一系列专业课程大纲、主干课程教材及数字化资源；二是取得了6项公共基础研究成果，内容包括职教师资培养模式、国际职教师资培养、教育理论课程、质量保障体系、教学资源中心建设和学习平台开发等；三是完成了18个专业大类职教师资资格标准及认证考试标准开发。上述成果，共计800多本正式出版物。总体来说，培养资源开发项目实现了高效益：形成了一大批资源，填补了相关标准和资源的空白；凝聚了一支研发队伍，强化了教师培养的“校—企—校”协同；引领了一批高校的教学改革，带动了“双师型”教师的专业化培养。职教师资培养资源开发项目是支撑专业化培养的一项系统化、基础性工程，是加强职教教师培养培训一体化建设的关键环节，也是对职教师资培养培训基地教师专业化培养实践、教师教育研究能力的系统检阅。

自2013年项目立项开题以来，各项目承担单位、项目负责人及全体开发人员做了大量深入细致的工作，结合职教教师培养实践，研发出很多填补空白、体现科学性和前瞻性的成果，有力推进了“双师型”教师专门化培养向更深层次发展。同时，专家指导委员会的各位专家以及项目管理办公室的各位同志，克服了许多困难，按照两部对项目开发工作的总体要求，为实施项目管理、研发、检查等投入了大量时间和心血，也为各个项目提供了专业的咨询和指导，有力地保障了项目实施和成果质量。在此，我们一并表示衷心的感谢。

编写委员会
2016年3月



职教师资是保证职业教育质量以及职业教育事业良性发展的关键因素。培养高质量、专业化的职教师资队伍是目前我国职业教育发展急需突破的“瓶颈”。高等职业教育教材应贯彻国家教育部对职业教育的要求,突出专业特色,着重技术应用的训练,培养应用型和复合型人才。本书是教育部 财政部“职业院校教师素质提高计划”中“机械设计制造及其自动化专业职教师资培养资源开发项目(VTNE008)”的成果之一。

本书在编写中突出职业教育特色,遵循“理论够用、重视实践”的原则,从职教师资人才培养目标及知识、能力和素质结构要求出发,充分考虑电气控制技术的实际应用和现代电气控制技术的最新应用成果,着眼于培养机械专业“双师型”教师专业知识与能力,突出基础知识的普及,注重应用技能的实用性。

本书共分5章,前2章重点介绍了常用低压电气控制系统;第3章首先对PLC做简单介绍,接着主要以SIEMENS S7-200系列为对象介绍PLC硬件组成及软件设计;第4章介绍PLC的典型应用,包括PLC与变频器、PLC与触摸屏的应用等;第5章完整介绍了PLC控制系统设计的过程及PLC、触摸屏的综合应用。本书从内容的编排设计上从浅入深、自然有序,结合了教师的教学思路 and 过程,具有以下特点:

(1) 淡化传统教材知识结构体系,以“项目”为引领,按照“做中学、学中做”的教学模式展开教材内容。

(2) 在内容层次设置上,从传统的电气控制入手,到PLC的应用,再到现代工业中PLC与变频器、触摸屏的综合应用。做到由浅入深、由基础到综合、由传统控制技术到现代控制技术循序渐进地展开。

(3) 基于“工作过程”的项目实施细节,注重培养职业习惯和素养。教材中每个项目实施过程,均从项目分析入手,按照项目设计、制作和调试的过程展开,项目实施体现了真实的完成项目的工作过程,使学生在完成项目实践的同时,学习了专业知识技能,也体会到职业人的工作细节,促进职业习惯和职业道德的养成。

(4) 内容设置注重专业技能实践及职业综合能力的提高。教材中减少了专业理论知识的平铺直叙,突出专业技能实践环节和细节,强调学生专业知识的应用,重点培养学生的专业技能,兼顾学生职业综合能力的提高。

全书内容知识结构合理,图文并茂,通俗易懂,便于自学。本书可作为机械设计制造及其自动化职教师资本科、高职高专院校,成人高校机电、电气自动化等工程类专业的教学用书,也可作为从事机电、电气技术工作的工程技术人员自学用的参考书。

本书由陕西科技大学陈婵娟担任主编,其中第1章由陕西科技大学王素暖编写,第2章、第4章及第5章中的机械手组态监控系统设计部分由西安航空职业技术学院李宁编写,第3章中的项目6、项目15、项目16及第5章的其余部分由陕西科技大学吉涛编写,第3章的其余项目(项目7~项目14)由西安航空职业技术学院边娟鸽编写。

由于水平有限,书中仍难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者



第 1 章 典型控制电路

项目 1 初识低压电气图

1

项目目标	1
项目描述	1
项目分析	1
知识储备	3
1. 电气控制线路	3
2. 低压电器	5
总结归纳	6

项目 2 三相交流异步电动机的启动控制

6

任务 1 三相交流异步电动机的直接启动	6
任务目标	6
任务描述	6
任务分析	6
知识储备	7
1. 刀开关	7
2. 熔断器	8
3. 接触器	9
4. 继电器	11
5. 按钮开关	14
任务实施	14
总结评价	18
任务 2 三相交流异步电动机的降压启动	19
任务目标	19
任务描述	19
任务分析	19
知识储备	19
1. 时间继电器的分类与原理	19
2. 时间继电器的识别、选择和安装	20
3. 低压断路器	21
任务实施	23

项目 3 三相交流异步电动机的运行控制

24

任务 1 三相交流异步电动机的可逆运行	25
---------------------	----

任务目标	25
任务描述	25
任务分析	25
知识储备	25
1. 行程开关	25
2. 微动开关	26
3. 接近开关	26
任务实施	27
知识拓展	29
任务 2 三相交流异步电动机的顺序运行	31
任务目标	31
任务描述	31
任务分析	31
知识储备	32
任务实施	32

项目 4

三相交流异步电动机的制动控制

33

任务 1 三相交流异步电动机的反接制动	33
任务目标	33
任务描述	34
任务分析	34
知识储备	34
速度继电器的识别、选择和安装	34
任务实施	35
任务 2 三相交流异步电动机的能耗制动	36
任务目标	36
任务描述	36
任务分析	36
任务实施	36
本章小结	38
思考题	38

第 2 章 典型电气控制系统分析与设计

项目 5

X62W 型万能铣床的电气控制电路分析

39

项目目标	39
项目描述	39
项目分析	39
知识储备	39
1. X62W 型卧式万能铣床的结构和运动形式	40
2. X62W 型卧式万能铣床的电力拖动和控制要求	41
3. X62W 型卧式万能铣床控制电路电气元件清单	41

项目实施	42
设计与实践 1 CA6140 车床电气控制系统设计	49
项目目标	49
项目描述	49
项目分析	50
知识储备	50
机床电气控制系统设计基础	50
项目实施	50
项目拓展	58
本章小结	61
思考题	61

第 3 章 SIEMENS 可编程序控制器

项目 6 认识可编程序控制器	62
项目目标	62
项目描述	62
项目分析	62
项目挑战	74

项目 7 S7-200 系列 PLC 的选型与使用	74
项目目标	74
项目描述	75
项目分析	75
知识储备	75
1. S7-200 系列 PLC 主机硬件组成	75
2. S7-200 系列 PLC 的输入/输出接口模块	79
3. S7-200 PLC 的系统配置	82
4. 扩展模块的编址	83
5. S7-200 系列 PLC 编址与寻址	84
项目实施	89
项目挑战	89

项目 8 S7-200 系列 PLC 编程软件使用	89
项目目标	89
项目描述	90
项目分析	90
知识储备	90
1. S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP 7-Micro/WIN 32 功能	90
2. STEP 7-Micro/WIN 32 编程软件的安装	90
3. STEP 7-Micro/WIN 32 编程软件窗口组件	91

4. S7-200 系列 PLC 的通信设置	95
5. 程序编辑	96
6. 编译	97
7. 调试及运行监控	97
项目挑战	97

项目 9 运料小车往复运动的 PLC 控制

98

项目目标	98
项目描述	98
项目分析	99
知识储备	101
1. 基本位操作指令	101
2. 置位、复位指令 S (Set)/R (Reset)	103
3. 边沿触发指令和取非操作指令	104
4. 触发器指令	105
项目实施	106
项目挑战	107

项目 10 花样喷泉的 PLC 控制

107

项目目标	107
项目描述	107
项目分析	108
知识储备	108
1. 定时器指令	108
2. 定时器指令应用	110
项目实施	112
项目挑战	114

项目 11 密码锁的 PLC 控制

116

项目目标	116
项目描述	116
项目分析	116
知识储备	117
1. 计数器指令	117
2. 计数器指令应用	118
3. 比较指令	120
项目实施	121
项目挑战	122

项目 12 天塔之光的 PLC 控制

124

项目目标	124
项目描述	124
项目分析	124

知识储备.....	125
1. 数据传送指令	125
2. 移位指令	127
3. 应用实例	129
项目实施.....	131
项目挑战.....	132

项目 13

水箱液位测量与显示

133

项目目标.....	133
项目描述.....	133
项目分析.....	135
知识储备.....	135
1. S7-200 系列 PLC 模拟量 I/O 扩展	135
2. S7-200 系列 PLC 模拟量的数据处理	141
3. S7-200 系列 PLC 的数据转换指令	142
4. S7-200 系列 PLC 的数据运算指令	143
项目实施.....	145
项目挑战.....	146

项目 14

8 盏彩灯循环控制

146

项目目标.....	146
项目描述.....	146
项目分析.....	146
知识储备.....	147
1. 中断	147
2. 中断事件	147
3. 中断优先级	148
4. 中断指令	148
5. 中断程序的建立	149
6. 中断程序应用举例	150
项目实施.....	151
项目挑战.....	152

项目 15

十字路口交通灯控制

153

项目目标.....	153
项目描述.....	153
项目分析.....	153
知识储备.....	153
1. 时序图逻辑设计法	154
2. 顺序控制设计法	154
项目实施 1 时序图逻辑设计法	156
项目实施 2 顺序功能图法单流程设计	156
项目实施 3 顺序功能图法并行序列设计	160

项目 16

两种液体混合控制系统设计

161

项目目标	161
项目描述	162
项目分析	162
项目实施 1 经验设计法设计	163
项目实施 2 启-保-停电路法设计	164
项目实施 3 移位寄存器法设计	165
本章小结	167
思考题	167
练习题	167

第 4 章

PLC 的典型应用

项目 17

电动机顺序启动和停止控制

171

项目目标	171
项目描述	171
项目分析	171
项目实施	172
项目挑战	174

项目 18

步进电机的 PLC 控制

174

项目目标	174
项目描述	175
项目分析	175
知识储备	175
1. 步进电机	175
2. 步进电机驱动器	176
3. PLC 的高速脉冲输出功能	177
项目实施	185

项目 19

PLC 与 MM440 变频器控制交流异步电动机正反转运行

188

项目目标	188
项目描述	188
项目分析	189
知识储备	189
1. 认识 MM440 变频器的接线端子和电路结构	189
2. 认识 MM440 变频器的操作面板	191
3. 变频器的参数设置方法	193
4. 变频器 6 个数字输入端子及其功能	196
项目实施	197

项目 20

PLC 与 MM440 变频器控制电动机实现 10 段频速运行

199

项目目标	199
项目描述	199
项目分析	199
知识储备	199
MM440 变频器的多段速控制功能及参数设置	199
项目实施	200
知识延伸	204
1. 基于模拟量信号的变频器操作控制电动机的运行和调速	204
2. PLC 与变频器联机通过 USS 通信协议控制电动机的运行	206

项目 21

触摸屏与 PLC 控制

206

项目目标	206
项目描述	206
项目分析	207
知识储备	207
1. 认知人机界面 TPC7062K 及 MCGS 嵌入版工控组态软件	207
2. MCGS 嵌入版组态软件的安装	210
3. MCGS 嵌入版工程下载及工程上传	211
4. MCGS 嵌入版的运行	212
项目实施	212
本章小结	227
思考题	227
练习题	227

第 5 章

PLC 控制系统设计实践

设计与实践 2

转运机械手控制系统的设计

229

项目目标	229
项目描述	229
知识储备	230
1. PLC 控制系统设计的基本原则、内容和步骤	230
2. PLC 硬件配置、安装与维护	232
项目分析	234
项目实施	235
项目挑战	248
本章小结	249
思考题	250
练习题	250

参 考 文 献

第 1 章 典型控制电路

项目 1 初识低压电气图

项目目标

1. 了解普通车床的电路图结构和元素。
2. 认识常用低压电器种类和符号。

项目描述

车床是一种应用极为广泛的金属切削机床，能够车削外圆、内圆、端面、螺纹、切断或割槽等，并可以装上钻头或铰刀进行钻孔或铰孔。在机床电路认识中，CA6140 车床的电路图具有重要的代表作用。所以我们从分析 CA6140 的电路图出发，认识图上的元器件，从而认识常用低压电器的种类和符号。

项目分析

1. CA6140 工作特点与控制需求

图 1-1 所示是 CA6140 型卧式车床的外形及结构。CA6140 型卧式车床主要由床身、主轴变速箱、进给箱、溜板箱、刀架、卡盘、尾座、丝杠和光杠等部件组成。

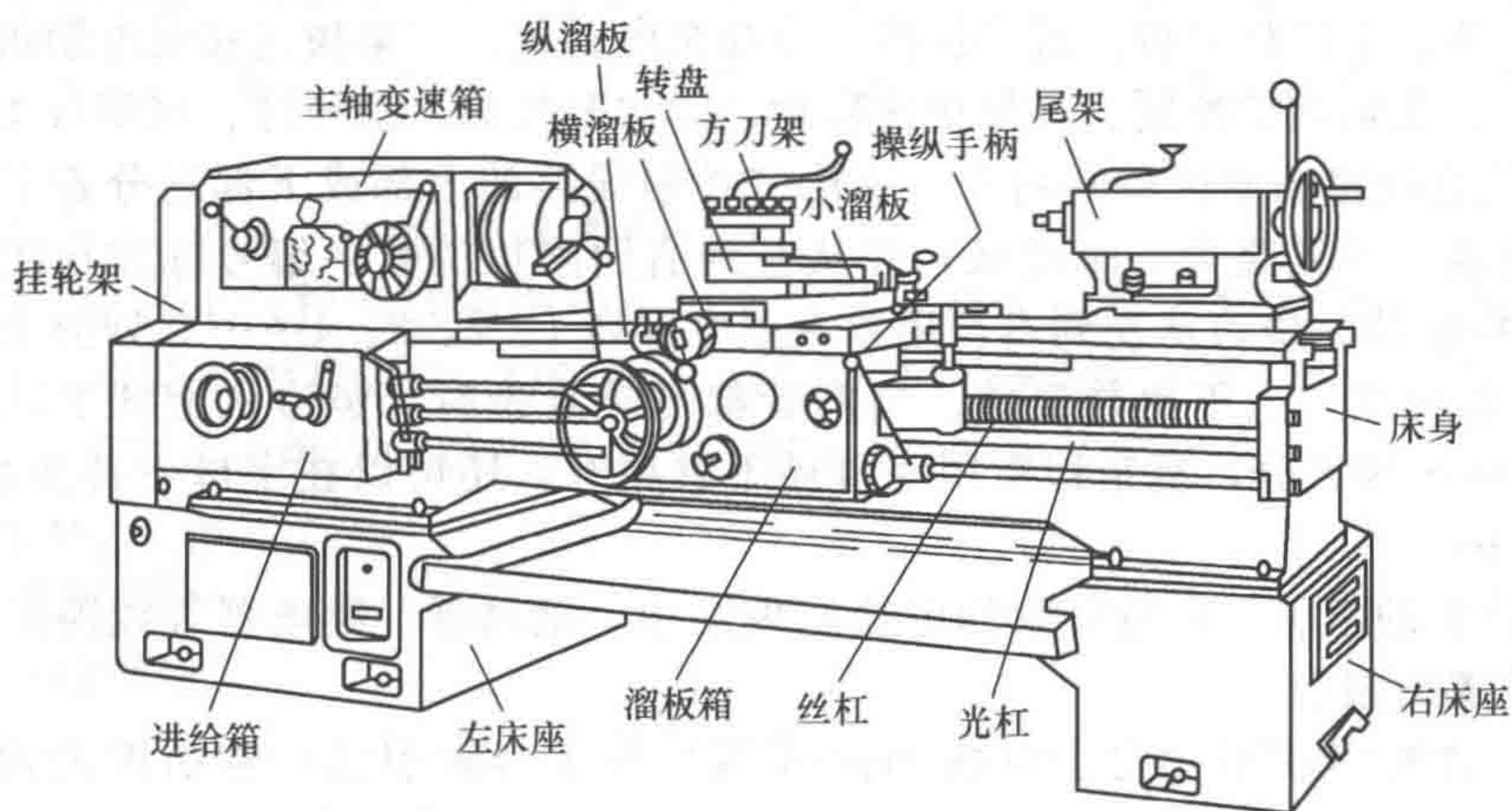


图 1-1 CA6140 型卧式车床的外形及结构

(1) CA6140 型卧式车床的工作特点

- ① 主运动 主运动是指工件的旋转运动，由主轴通过卡盘或顶尖带动工件进行旋转运

动, 主轴的旋转由主轴电动机经传动机构带动。车削加工时, 根据工件材料、刀具材料及几何形式、工件直径、加工方式及冷却条件的不同, 要求主轴在一定的范围内变速。另外为了加工螺纹等工件, 还要求主轴能够正、反转。

② 进给运动 进给运动是指刀架带动刀具的横向或纵向直线运动。刀架的进给运动也是由主轴电动机带动的, 其运动方式分为手动和自动两种。在进行螺纹加工时, 工件的旋转速度与刀架的进给速度之间应有严格的比例关系, 因此, 车床刀架的横向或纵向的进给运动是由主轴箱输出轴经齿轮箱、进给箱、光杠传入溜板箱而获得的。

③ 辅助运动 辅助运动是指车床上除切削运动以外的其他一切必需的运动, 如刀架的快速移动、尾座的纵向移动、工件的夹紧与放松等。

(2) CA6140 型卧式车床的控制要求

① 主轴旋转要能调速。主轴电动机一般选用三相笼形异步电动机, 为满足调速要求, 采用机械变速。

② 为了车削螺纹, 主轴要求正、反转。CA6140 型车床主轴的正反转靠摩擦离合器来实现, 主轴电动机单向旋转。

③ CA6140 型车床主轴电动机采用直接启动, 停车时为自由停车。

④ 车削加工时, 刀具与工件温度较高, 需进行冷却。为此, 设有一台冷却泵电机用来输出冷却液, 冷却泵与主轴电机有顺序运行关系, 即冷却泵电机应在主轴电机启动后才能启动, 在主轴电机停止后才能停止。

⑤ 刀架快移电机拖动刀架溜板箱快速移动, 采用点动控制。

⑥ 控制电路应具有安全可靠的保护环节和必要的照明及信号指示。

2. CA6140 的电路图结构和元素

(1) CA6140 的电路图结构

CA6140 型卧式车床电路如图 1-2 所示。车床电路中所包含的电气元件和电气设备较多, 相应的电气符号也较多, 要正确识读电气控制线路, 除掌握识读电气控制线路的一般原则外, 还应注意以下几点。

① 电气控制线路的功能单元划分 按各部分电路的功能不同, 将电气控制线路分为若干个单元, 并用文字将其功能标注在单元区栏内。图 1-2 所示电气控制线路按功能分为电源保护、电源开关、主轴电动机、短路保护、冷却泵电动机、刀架快速移动电动机、控制电源变压器及保护、主轴电机控制、刀架快速移动、冷却泵控制、信号灯、照明灯 12 个单元。

② 电气控制线路图面区域的划分 在电气控制线路的上部或下部划分若干个图区, 一般是一条线路或一条支路为一个图区, 并从左到右用阿拉伯数字编号标注在图区栏中。图 1-2 所示电气控制线路横边从左到右, 用数字顺序排列 1、2、3、4……共划分为 11 个图区。图 1-2 左右比较复杂, 上下比较简单。当两者都比较复杂时, 竖边从上到下, 用拉丁字母 A、B、C、D……来区分, 复杂程度用字母还不够用时, 还可以在字母下再加数字来区分, 如 A1、A2……

③ 触点位置的索引 在较复杂的电器原理图中, 接触器、继电器等线圈的文字下方要标注其触点位置的索引。

符号位置的索引使用图号、页次和图区编号的组合索引法。索引图的组成如图 1-3 所示。

当某一元件相关每个图号仅有一页图样时, 索引各符号出现在不同图号的图样上, 而代号可以省去页次。当与某一元件相关的各符号出现在同一图号的图样上, 而该图号有多张图样时索引代号可省去图号。当与某一元件相关的各符号出现在只有一张图样的不同图区时, 索引代号只用图区号表示。图 1-2 所示就是这种情况。

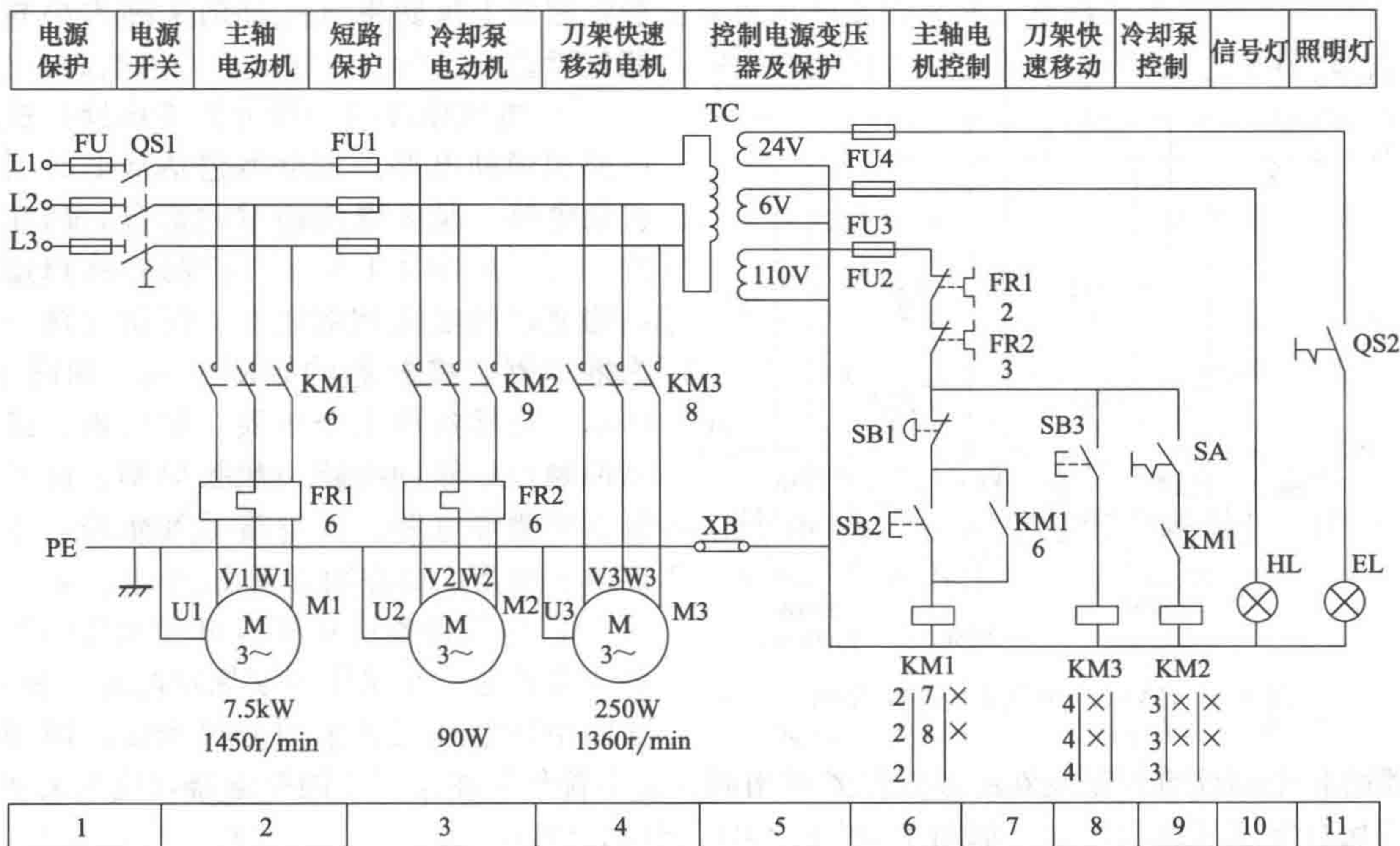


图 1-2 CA6140 型卧式车床电路图

在每个接触器线圈的下方画出两条直线，分成左、中、右 3 栏，左、中、右栏分别为主触点、常开辅助触点、常闭辅助触点所在图区号，×表示未使用。图 1-2 所示图区 6 中 KM1 线圈下方触点位置的索引表示三对主触点在图区 2，两对常开辅助触点分别在图区 7 和 8 中，两对常闭辅助触点未使用。

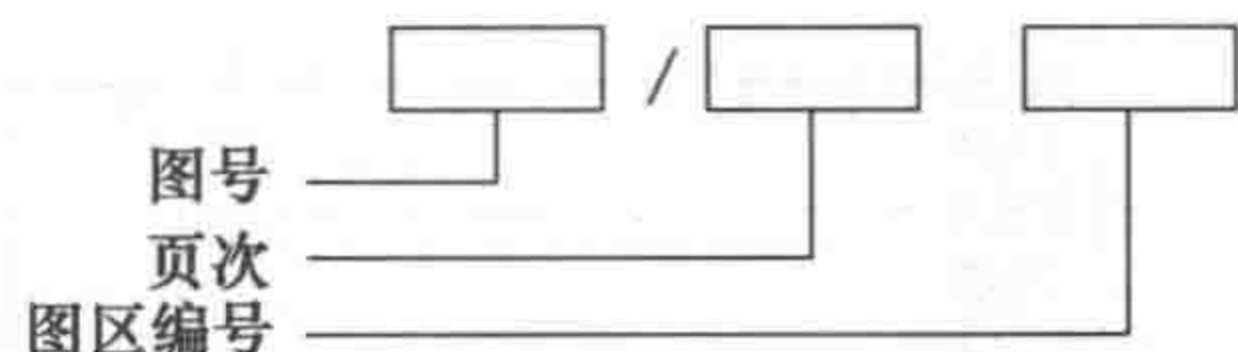


图 1-3 索引代号的组成

有两类触点的电器（如中间继电器），每个继电器线圈的下方画出一条竖直线，分成左、右两栏，左、右栏分别表示常开触点、常闭触点所在图区号。

在接触器、继电器触点文字符号的下方用数字标出该电器线圈所在的图区号。图 1-2 所示图区 2 中 KM1 主触点下方 6，即为最简单的索引代号，它表示接触器 KM1 线圈在图区 6 中。

(2) CA6140 的电气控制线路图的元素

在 CA6140 的电气控制线路图中 L1、L2、L3 表示三相电源进线，一般水平或竖直画出，与右边的电路图相互垂直。QS 表示刀开关；FU 表示熔断器，起短路保护的作用；KM 表示接触器；FR 表示热继电器；SB 表示按钮；SA 表示转换开关。

知识储备

1. 电气控制线路

电气控制线路是由许多电气元件按一定的要求连接而成的。为了表达生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，便于电气系统的安装、调试、使用和维修，将电气控制系统中电气元件及其连接线路用一定的图形表达出来，这就是电气控制系统图。电气控制系统图一般有三种，电气原理图、电器布置图和电气安装接线图。

(1) 电气原理图

电气原理图是用图形和文字符号，表示电路中各个电气元件的连接关系和电气工作原

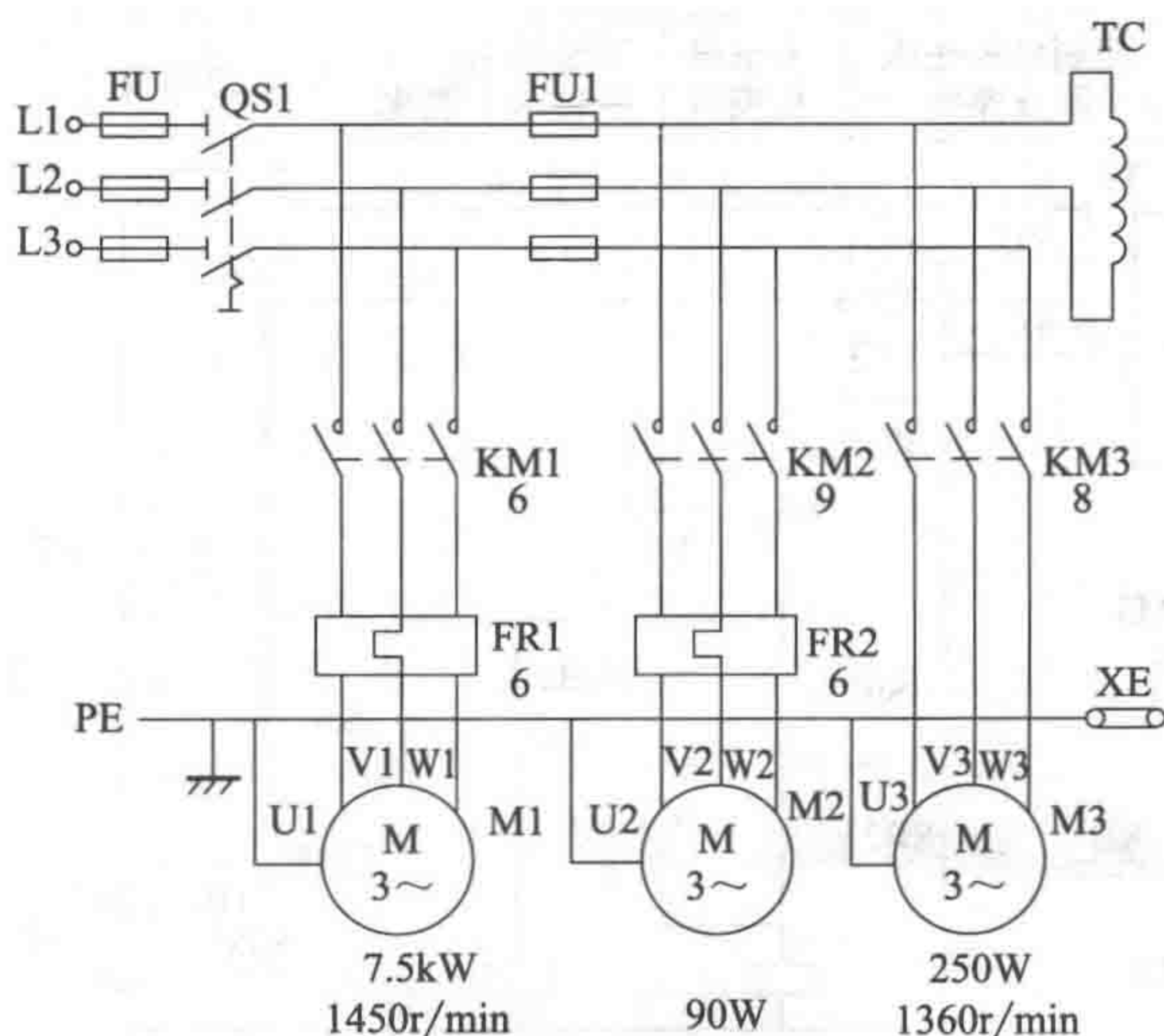


图 1-4 CA6140 电气系统主电路图

电器的各个部件可以不画在一起，但必须用同一文字符号标注。对于同类电器，应在文字符号后加数字序号以示区别。如图 1-5 中的 SB1、SB2、SB3。

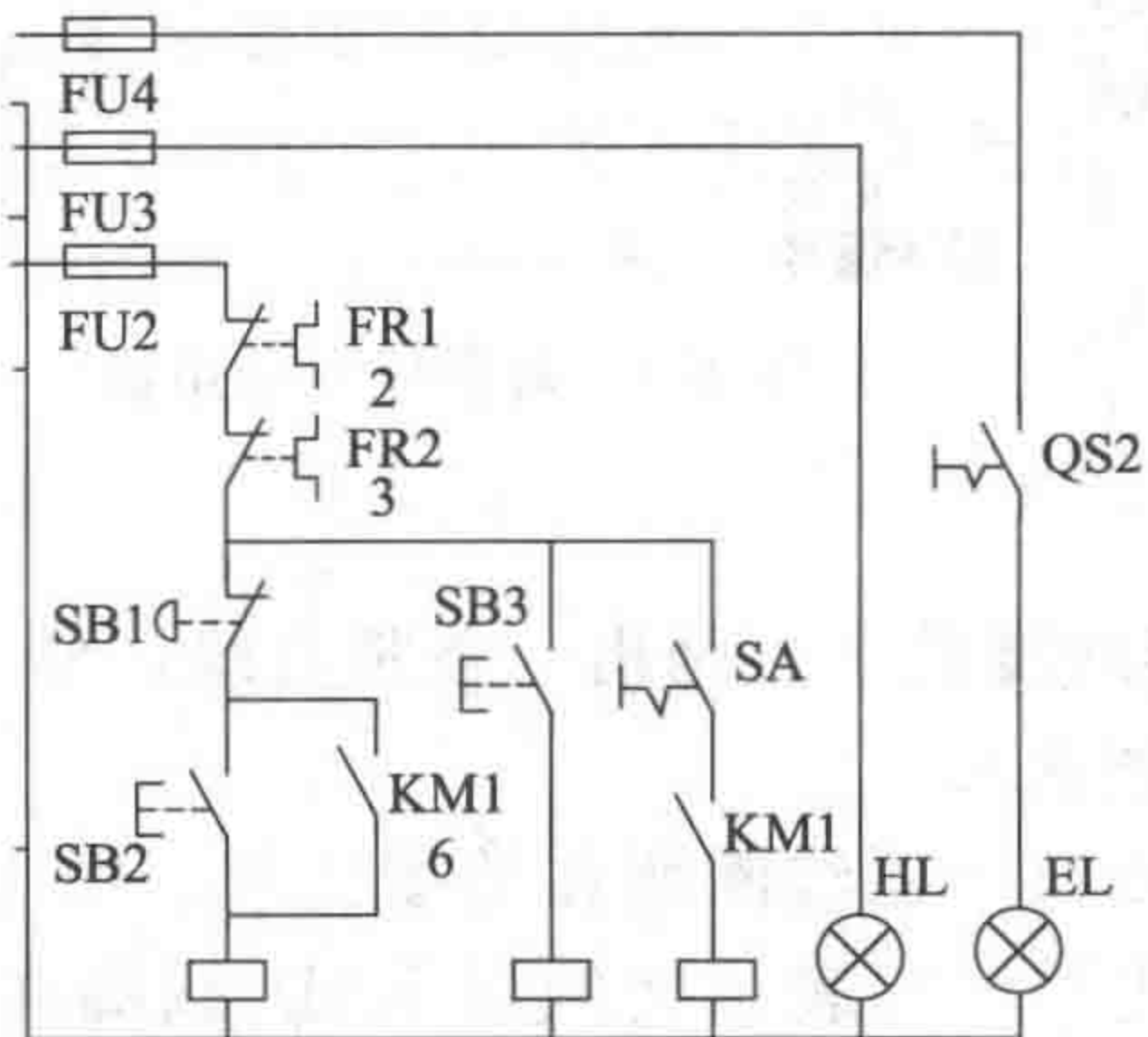


图 1-5 CA6140 电气系统控制电路图

理，它并不反映电气元件的实际大小和安装位置。

① 电气原理图一般分为主电路、控制电路和辅助电路。主电路包括从电源到电机的电路，是大电流通过的部分，画在图的左边，如图 1-4 所示。控制电路和辅助电路通过的电流相对较小，控制电路一般为继电器、接触器的线圈电路。如图 1-5 所示，包括各种主令电器、继电器、接触器的触点；辅助电路一般指照明、信号指示、检测等电路。各电路尽可能按动作顺序由上而下、由左而右画出。

② 电气原理图中所有电气元件的图形和文字符号必须采用国家规定的统一标准。在图中，电气元件采用分离画法，即同一

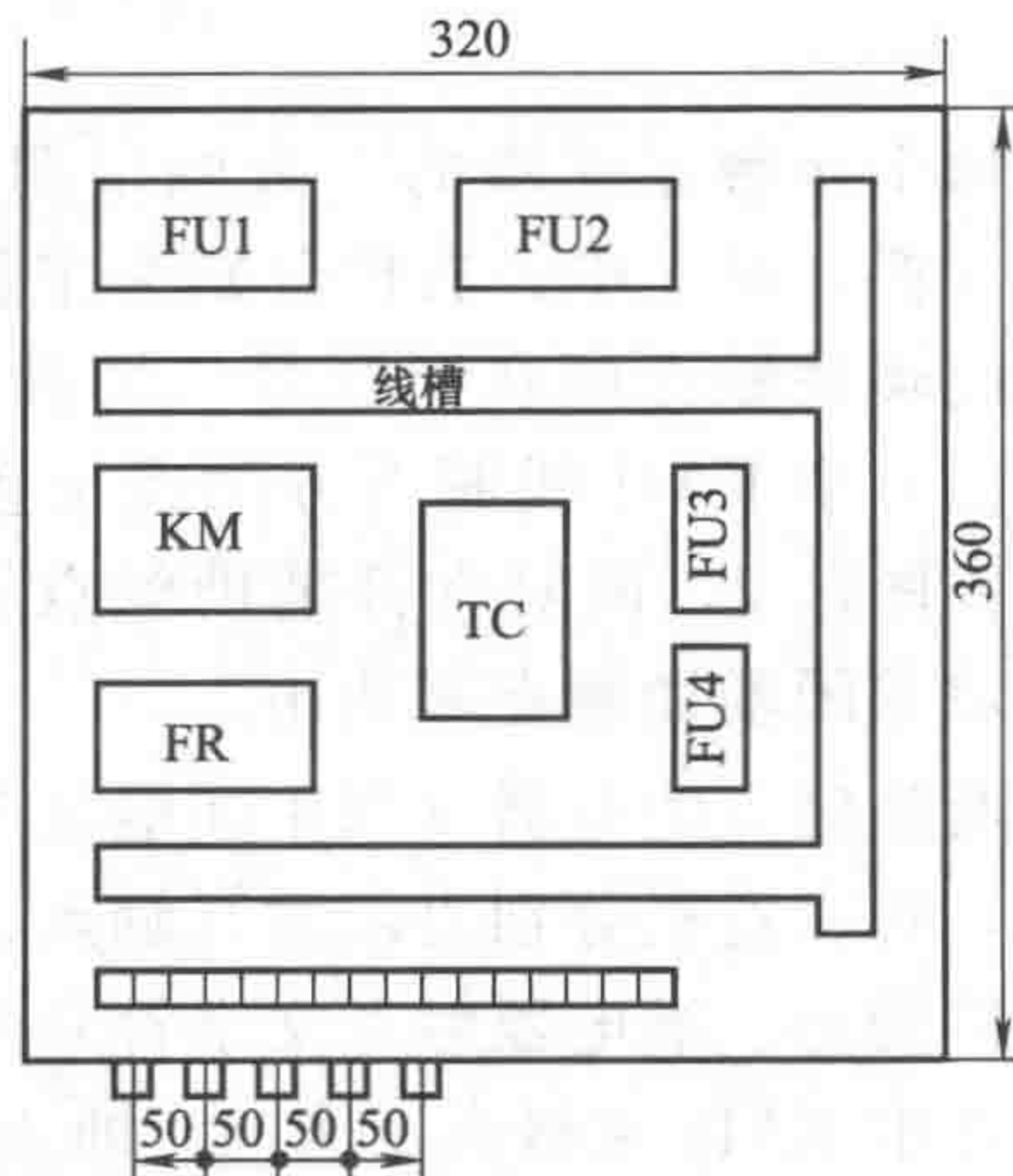


图 1-6 CA6140 电器布置图

③ 在电气原理图中，所有电器的可动部分均按原始状态画出，即继电器、接触器的触点应按其线圈不通电的状态画出；控制器应按其手柄处于零位时的状态画出；按钮、行程开关等主令电器应按其未受外力作用时的状态画出。

④ 动力电路的电源线应水平画出；主电路应垂直于电源线；控制电路和辅助电路应垂直于水平电源线；耗能元件（如线圈、电磁阀、指示灯等）应接在下面一条电源线一侧，而各种控制触点应接在另一条电源线上。

⑤ 应尽量减少线条数量和避免线条交叉。各导线间有电联系时，应在导线交叉处画实心圆点。根据布置需要，可将图形符号旋转绘制，一般按逆时针方向旋转 90°，但文字符号不可倒置。

⑥ 为方便阅读，在电气原理图中可以将图分成若干个图区，并标明各图区电路的作用。如前面图 1-2 所示。

(2) 电器布置图

电器布置图按其外形形状画出。在图中往往留有 10% 以上的备用面积及导线管（槽）