

陆文伟

三相异步电动机 的控制线路

水利电力出版社

三相异步电动机 的控制线路

陆 文 伟

水 利 电 力 出 版 社

内 容 提 要

本书比较全面和系统地阐述了三相异步电动机控制线路的基础理论和基本线路的设计；在详细地分析了各种不同线路的前提下，大量地介绍了各种条件下的典型线路；对三相异步电动机的传统控制线路，大胆地提出了改革建议；书中对电动机的半导体可控硅控制线路和有关参数的计算，也作了一定的介绍；在最后一章里，还介绍了一些较复杂线路的设计和改革的实例。本书无论对青年电工，还是对多年从事电力拖动和工矿企业电气自动化设计、施工、运行的技师和工程技术人员，都有一定的参考价值。

三相异步电动机的控制线路

陆 文 伟

（根据电力工业出版社纸型重印）

*

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 16.25印张 431千字 1插图

1981年12月第一版

1983年9月新一版 1983年9月北京第一次印刷

印数00001—20060册 定价1.60元

书号 15143·5194

目 录

第一章 异步电动机控制线路的基本知识	1
第一节 控制线路的作用	1
第二节 控制线路的基本概念	1
第三节 对控制线路的基本要求	4
第四节 有关控制线路可靠性的几个具体问题	5
一、线路的简化与中间继电器的合理使用(5) 二、线圈的 串联与并联(6) 三、一个普遍没有注意的设计依据(8)	
四、自动与手动(10) 五、关于信号灯的设置(12)	
第五节 控制线路中常用的文字符号和图形符号	14
一、常用的文字符号(14) 二、常用的图形符号(18)	
第六节 控制线路图的绘制	23
一、控制线路图的种类(23) 二、原理图的绘制(24)	
三、安装接线图的绘制(26)	
第二章 三相鼠笼式异步电动机的全压起动控制线路	30
第一节 刀开关控制线路	30
第二节 点动控制线路	31
第三节 单向运行控制线路	32
第四节 单向运行控制线路中的保护环节	36
第五节 单向运行控制线路的设计	38
一、排氢电动机的自起动控制线路(38) 二、污水泵的自动 控制线路(39)	
第六节 可逆运行控制线路	41
第七节 可逆运行控制线路的设计	47
一、能够点车的可逆运行控制线路(47) 二、高炉加料小车 的自动控制线路(50) 三、切钠机的自动往返控制线路(56)	
第三章 三相鼠笼式异步电动机的减压起动控制线路	60
第一节 电阻减压起动控制线路	61
一、线路的设计(61) 二、线路的分析与改进(68) 三、 典型线路的介绍(71) 四、电阻减压起动控制线路设计的原	

则(74) 五、对电阻减压起动的评价和起动电阻的计算(75)	
第二节 自耦变压器减压起动控制线路	76
一、线路的设计(76) 二、线路的分析与改进(89) 三、 典型线路的介绍(98) 四、自耦变压器减压起动控制线路设计 的原则(106) 五、对自耦变压器减压起动的评价(106)	
第三节 $Y-\Delta$ 减压起动控制线路	108
一、线路的设计(108) 二、线路的分析与改进(114) 三、 典型线路的介绍(116) 四、 $Y-\Delta$ 减压起动控制线路设计的 原则(120) 五、对 $Y-\Delta$ 减压起动的评价(121)	
第四节 $\Delta-\Delta$ 减压起动控制线路	122
一、线路的设计(122) 二、线路的分析与改进(124) 三、 典型线路的介绍(130) 四、 $\Delta-\Delta$ 减压起动控制线路设计的 原则(134) 五、 $\Delta-\Delta$ 减压起动时起动电流的计算及对 $\Delta-\Delta$ 减压起动的评价(134)	
第四章 三相绕线式异步电动机的控制线路	137
第一节 转子绕组串接铸铁电阻片或镍铬电阻丝起动的控制 线路	137 12
一、线路的设计(138) 二、线路的分析与改进(148) 三、 典型线路的介绍(153) 四、绕线式异步电动机应用铸铁电阻 片或镍铬电阻丝起动时控制线路设计的原则(157) 五、绕线 式异步电动机起动电阻的计算(157)	
第二节 转子绕组串接频敏变阻器起动的控制线路	160
一、线路的设计(160) 二、线路的分析与改进(166) 三、 典型线路的介绍(172) 四、绕线式异步电动机应用频敏变阻 器起动时控制线路设计的原则(180) 五、管式频敏变阻器的 简单计算(180)	
第五章 三相异步电动机的调速控制线路	183
第一节 变更极对数的调速控制线路	183
一、变更极对数的原理(183) 二、双速异步电动机控制线路 的设计(186) 三、三速异步电动机控制线路的设计(191) 四、四速异步电动机控制线路的设计(200) 五、线路的分析 与改进(205) 六、典型线路的介绍(213) 七、多速异步电 动机控制线路设计的原则(217)	
第二节 变更转子外加电阻的调速控制线路	218
第三节 电磁调速异步电动机的控制线路	219

一、电磁调速异步电动机的工作原理(219) 二、电磁调速异步电动机基本控制线路的设计(221) 三、电磁调速异步电动机控制线路中可控硅调压部分的设计(226)

第六章 三相异步电动机的制动控制线路.....242

第一节 机械制动控制线路.....242

一、线路的设计(242) 二、对机械制动的评价及其控制线路设计的原则(248)

第二节 反接制动控制线路.....249

一、反接制动的原理(249) 二、线路的设计(250) 三、线路的分析与改进(262) 四、对反接制动的评价及其控制线路设计的原则(267) 五、反接制动电阻的计算(268)

第三节 能耗制动控制线路.....269

一、能耗制动的原理(269) 二、线路的设计(270) 三、线路的分析与改进(279) 四、对能耗制动的评价及其控制线路设计的原则(280) 五、有关能耗制动的一些计算(281)

第七章 三相异步电动机控制线路的改革建议284

第一节 接触器闭合特性的试验及其进一步的应用.....284

第二节 三相鼠笼式异步电动机控制线路的改革.....293

第三节 三相绕线式异步电动机控制线路的改革.....305

第八章 高压异步电动机控制线路的设计314

第一节 断路器操作机构的工作原理.....314

第二节 直流操作电源的控制线路.....316

第三节 交流操作电源的控制线路.....343

第四节 高压异步电动机控制线路设计的原则.....353

第五节 高压异步电动机继电保护的整定.....354

一、电流速断保护的整定(354) 二、过载保护的整定(355)
三、差动保护的整定(355) 四、单相接地保护的整定(356)
五、低电压保护的整定(356)

第九章 三相异步电动机可控硅无触点控制线路的设计.....357

第一节 可控硅元件的开关特性.....357

第二节 可控硅元件的工作原理.....359

第三节 可控硅交流无触点开关.....360

第四节 三相异步电动机可控硅无触点控制线路.....362

第五节 三相异步电动机可控硅无触点控制线路的设计.....367

第六节	三相异步电动机双向可控硅的无触点控制线路·····	373
第七节	注意事项及需要有关部门协助解决的两个问题·····	376
第十章	三相异步电动机控制线路设计举例与典型线路的分析和改革·····	378
第一节	双电源供电的异步电动机控制线路的设计·····	378
第二节	单层绕组的三速异步电动机控制线路设计的三个典型例子·····	393
第三节	载货电梯控制线路的设计·····	415
第四节	打料泵自动控制线路的设计·····	435
	一、线路的设计(435) 二、弱电部分的参数计算(451)	
第五节	苏联АГ-800离心机电气控制线路的分析与改革·····	458
	一、АГ-800离心机电气原理图(458) 二、存在的问题(466)	
	三、改革以后的离心机电气控制线路(474)	
第六节	国产WG型离心机电气控制线路的分析与改革之一·····	486
	一、目前国产WG型离心机的电气原理图(486) 二、存在的问题(490) 三、线路的改革(496)	
第七节	国产WG型离心机电气控制线路的分析与改革之二·····	500
	一、利用时间继电器来控制卸料的结束与是否是不够合理的(504)	
	二、关于联锁的问题(506) 三、原控制线路的两个弱点在新设计的线路中依然存在(507) 四、其它问题(508) 五、具体的改革方案(509)	

第一章 异步电动机控制线路的 基 本 知 识

第一节 控制线路的作用

欲使电动机能够按照人们的要求运转，就必须设计正确、可靠、合理的控制线路。电动机在连续不断的运转中，有可能产生短路、过载等各种电气故障，所以对控制线路来说，除了承担电动机的供电和断电的重要任务外，还担负着保护电动机的作用。当电动机发生故障时，控制线路应该发出信号或自动切除其电源，以避免事故扩大。在自动化水平较高的生产机械上，是通过电气元件的自动控制来完成其各道工序的，操作人员则完全摆脱了沉重、烦琐的体力劳动。这种情况下控制线路不但能够在电动机发生故障时起保护作用，并且在生产机械的某道工序处于异常状态时，还能够发出指示信号，并根据异常状态的严重程度，作出是继续开机还是立刻停机的选择。

随着电子技术的飞跃发展，电动机的控制必将进入一个新的阶段，但是它的基本线路，在任何复杂、先进的控制线路中，将始终占有举足轻重的地位。

第二节 控制线路的基本概念

异步电动机的控制线路，一般可以分为主电路和辅助电路两部分，而在高压异步电动机的控制线路中，主电路通常称为一次回路，辅助电路则称为二次回路。

凡是流过电气设备负荷电流的电路，称主电路；凡是控制主电路通断或监视和保护主电路正常工作的电路，称辅助电路。主电路上流过的电流一般都比较大大，而辅助电路上流过的电流则都

比较小。

主电路的电压等级，通常都采用380伏、220伏，高压异步电动机的主电路则常采用6千伏、3千伏等电压。辅助电路的电压等级除了采用上述所说的380伏、220伏以外，也有采用127伏、110伏、100伏、48伏、36伏、24伏、12伏、6.3伏等电压等级的，在采用这些电压等级的时候，必须设置单独的降压变压器。辅助电路的电源通常选用主电路引来的交流电源，但是也有选用直流电源的，直流电源往往通过硅整流或可控硅整流来获得。

主电路一般由负荷开关、空气自动开关、刀开关、熔断器、磁力起动器或接触器的主触点、自耦变压起动器、减压起动电阻、电抗器、电流互感器一次侧、热继电器发热部件、电流表、频敏变阻器、电磁铁、电动机等电气元件、设备和连接它们的导线组成。

辅助电路一般由转换开关、熔断器、按钮、磁力起动器或接触器线圈及其辅助触点、各种继电器线圈及其触点、信号灯、电铃、电笛、电流互感器二次侧线圈以及串联在电流互感器二次侧线圈电路中的热继电器发热部件、电流表等电气元件和导线组成。如果辅助电路采用的交流电压，不是380伏和220伏，那末就需要设置降压变压器，若是辅助电路采用的是直流电源，则还应该增加二极管或可控硅等整流元件。

无论是在主电路和辅助电路中，人们往往将那些联合完成某单项工作任务的若干电气元件，称为一个环节，有时也称为回路。

图1-1是某厂生产的鼠笼式异步电动机自耦变压器减压起动装置的控制线路。在这里，可以将刀开关DK、熔断器RD、接触器主触点1C、2C、自耦变压器ZBQ、电流互感器LH一次侧、电动机YD等元件与设备所构成的电路称为主电路；而把信号灯降压变压器ZB，信号指示灯1XD、2XD、3XD，按钮TA、1QA、2QA，接触器1C、2C线圈及其辅助触点，中间继电器ZJ线圈及其触点，电流互感器LH二次侧线圈，热继电器RJ的发热部件及

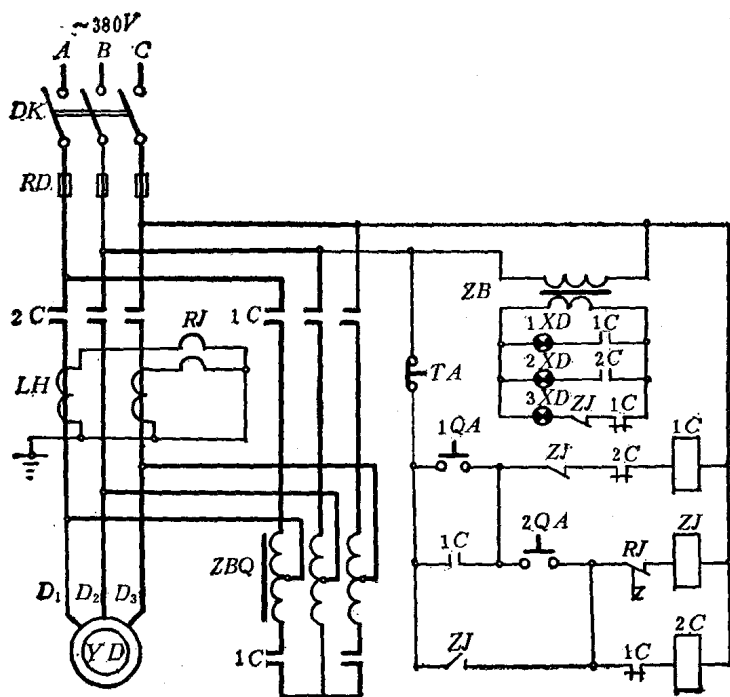


图 1-1

其触点等构成的电路称为辅助电路。主电路中的1C主触点和ZBQ等元件及有关电路称为减压起动环节，将RD、2C主触点、LH一次侧等元件及有关电路称为正常运转环节。而在辅助电路中，ZB、1XD、2XD、3XD等有关电路可以称为信号回路，而将1QA、1C线圈及其有关的电路称为起动回路，相对应的则可以将2QA、ZJ线圈、2C线圈等有关电路称为运行回路。

正确的区分控制线路的各个组成部分，对于理解、分析和掌握复杂线路的工作原理，有着十分重要的意义。

在一些自动化水平较高的控制线路里，辅助电路中往往同时

设有自动控制和手动控制两种运行方式，其选择则是通过转换开关或组合开关旋转手柄置于不同的角度来实现。

第三节 对控制线路的基本要求

为了确保生产机械在提高工作效率的同时能够安全、可靠的长期运行，对控制线路有如下三项基本要求：

(1) 能够满足生产机械的工艺条件，并且在操作上没有不合理的特殊要求。

(2) 结构简单，工作可靠，其具体要求是：

1) 取消一切可有可无的电气元件、触点；

2) 对供电线路和电气设备可能出现的故障，有可靠的保护装置；

3) 线路处于正常的工作状态时，应该尽可能避免中间继电器线圈长期流过电流；

4) 只有在不影响线路可靠性的前提下才允许线圈的相互串联与并联；

5) 在自动控制的线路中，要尽可能同时设置相应的手动控制运行方式；

6) 线路中的任何电气元件，在其完成使命后，应该立刻断开其电路；生产机械处于停机状态时，任何电气元件不得存在长期通电的可能；

7) 凡是采用起动设备的控制线路，必须具有确保发挥起动设备作用的可靠手段；

8) 具有必要和可靠的联锁，同时线路不得存在产生隐患事故的可能；

9) 合理选用电气元件，并尽可能减少其品种和规格，以利备品备件的贮存。

(3) 便于施工与维修。

第四节 有关控制线路可靠性的 几个具体问题

一、线路的简化与中间继电器的合理使用

在控制线路中多采用一个电气元件和多采用一对触点，就可能多一个事故的爆发点，因此减少一切可有可无的电气元件、触点，是保证控制线路安全、可靠的一个有效措施。

举例来说，若是某线圈的正常工作是建立在两对常开触点共同闭合的基础上的，那末这两对常开触点中的任何一对发生故障——如触点无法闭合或触点已经烧毁等，线圈就不可能正常通电。假如能够设法用一对常开触点，来代替原来两对常开触点的作用，那末前后相比较，后者的事故爆发点就比前者降低了50%。换句话说，就是线圈工作的可靠性提高了一倍。当然，上述所说的那一对常开触点，就不一定是原来两对中的某一对了，因为这里决不是单纯的数量变化。如果某线圈的得电与失电，本来可以依靠一对常开触点的闭合与打开来控制，但是由于在设计过程中没有认真考虑和统筹安排，而采用了两对常开触点来控制，那末此时线圈工作的可靠性与原来相比较，则下降了50%。

同样，若是某一台电动机的正常运转，是建立在一台接触器和一只中间继电器长期闭合的基础上，那末这台电动机的工作，与它没有采用中间继电器的时候相比较，其可靠性也就下降了50%。这是由于对于前者来说，不管是接触器还是中间继电器，只要它们中间的任何一个产生故障而无法闭合，电动机就不可能正常运转，而后者只要接触器能够闭合，电动机就始终可以正常运转。很明显，前者的事故爆发点为后者的两倍。如果这台电动机的正常工作，是建立在一台接触器和两只中间继电器长期闭合的基础上，则电动机工作的可靠性就下降到原来的33.3%。反过来说，如果能够把电动机正常运转时必须长期闭合的中间继电器甩开，那末就可以提高电动机运转的可靠性，即其控制线路工作

的可靠性得到了提高。对于这一点，至今没有引起人们的足够重视。在目前的一些控制线路中，中间继电器的长期闭合，普遍被用来作为控制线路正常工作的必要条件。例如前面的图 1-1 的控制线路就是这样，在电动机的正常运转过程中，一旦中间继电器发生故障而无法继续闭合时，电动机将被迫停止运转。当然，并不是反对在控制线路中使用中间继电器，而是说，控制线路的正常工作，应该避免和减少对中间继电器的依赖性。或者说，控制线路委托给中间继电器的任务，尽可能只是一些临时的、短期的。一旦这些临时的、短期的使命完成后，这个起转换作用的元件就应该迅速的撤除。

二、线圈的串联与并联

1. 线圈的串联

在交流电源的控制线路中，无论是接触器线圈、继电器线圈或者还是说其它任何形式的电磁铁线圈，一律禁止相互串联后使用。其理由是：线圈串联以后有可能影响控制线路的正常工作，这是因为这些线圈的电感，是随着衔铁与铁芯之间相对位置的变化而变化的。衔铁处于释放状态时，线圈的电感远远小于衔铁处于闭合状态时线圈的电感，于是串联的两只线圈在通电以后，若是两个衔铁在被吸合的过程中，由于机械或电气等方面的原因而造成其动作速度不一致时，就有可能出现一只线圈的衔铁闭合，而另一只线圈的衔铁无法闭合的不正常现象。假如说在衔铁均处于释放状态的时候，两只线圈得到的电压相等，并且又恰好等于其额定工作电压，此时若是其中一只线圈的衔铁首先闭合，那末这只线圈的电感立刻变大，于是两只线圈得到的电压就不再相等了。电感变大的那只线圈得到的电压增加，相对来说，另一只线圈得到的电压就减少，从而就有可能使动作速度慢的衔铁始终无法闭合。而衔铁首先闭合的那只线圈，则会由于得到的电压超过其额定工作电压而烧毁。

在直流电源的控制线路中，一般也不允许线圈相互串联后使用，虽然此时不再可能存在上述的那些现象，但是两只线圈的电

2. 线圈的并联

图1-2是目前的一些电器开关厂生产的自耦变压器减压起动装置的控制线路。在这里，时间继电器SJ线圈与接触器2C线圈

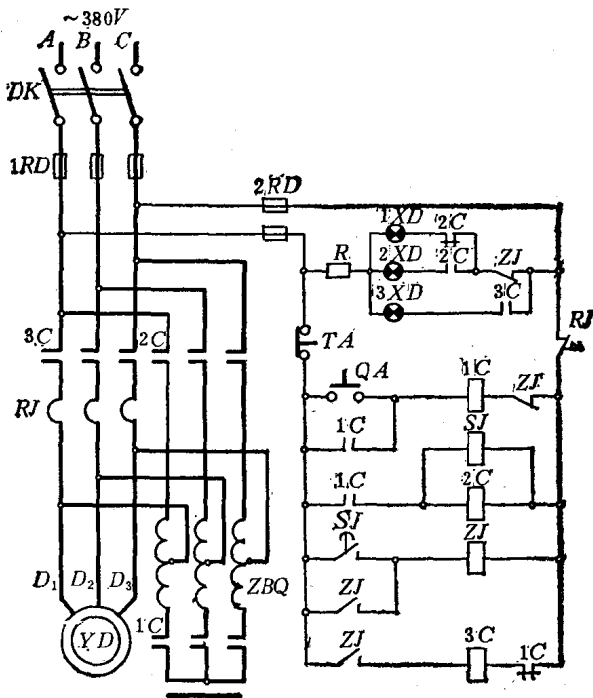


图 1-2

相并联。若是各电气元件均处于完好的情况下，那末该线路是能够正常工作的，但是一旦2C线圈若是事先就已经断线，则电动机将会在起动按钮QA按下后全电压起动，因为SJ线圈在接触器1C常开辅助触点的闭合而通电后，它并不管接触器2C闭合与否，只要其整定的时间一到，SJ延时闭合的常开触点立即闭合，于是随着中间继电器ZJ线圈的通电，电动机的全电压起动便会立刻产生。全电压起动的后果，轻则使电动机脱离电源——即无法起动，重则使系统电源开关自动跳闸，从而影响大面积的正常供电。由此看来，类似图1-2中线圈的并联是绝对不允许的，因为这样将使控制线路存在着产生隐患的可能。所谓隐患，即是控制线路中各电气元件均处于完好状态时，线路的正常工作丝毫不受影响，一旦某个电气元件处于异常状态时，事故便立刻爆发了。

在直流电源的控制线路中，一般只允许同类型电气元件的线圈相并联，对于非同类型电气元件的线圈则往往禁止并联。原因是非同类型电气元件的线圈并联后，有可能在某种情况下导致控制线路工作的混乱。例如大容量接触器的线圈与一些小型的继电器线圈相并联时，在断开它们电源的瞬间，继电器的动作就可能发生混乱。因为大容量接触器线圈的电感和流过的电流，远远超过小型继电器线圈的电感和流过的电流，于是在两只线圈电源被断开的时候，接触器线圈的放电电流将反方向流过继电器线圈，从而有可能使已经释放的继电器重新闭合。在一般情况下，此时继电器闭合以后仍会自动释放，但是在控制线路中，有可能已经由于它的闭合而造成了事故的爆发。

三、一个普遍没有注意的设计依据

图1-3是在生产现场经过长期试验和运行的自耦变压器减压起动控制线路，它不但起到了图1-1和图1-2控制线路的所有作用，并且免除了它们的缺陷，有关内容本书将在第三章中详细讨论。这里仅提出这样一个问题：为什么图1-1中的2C接触器和图1-2中的3C接触器，在电动机正常运转的时候不依靠自身的常开辅助触点自保持，而偏偏要选择中间继电器ZJ常开触点的闭合

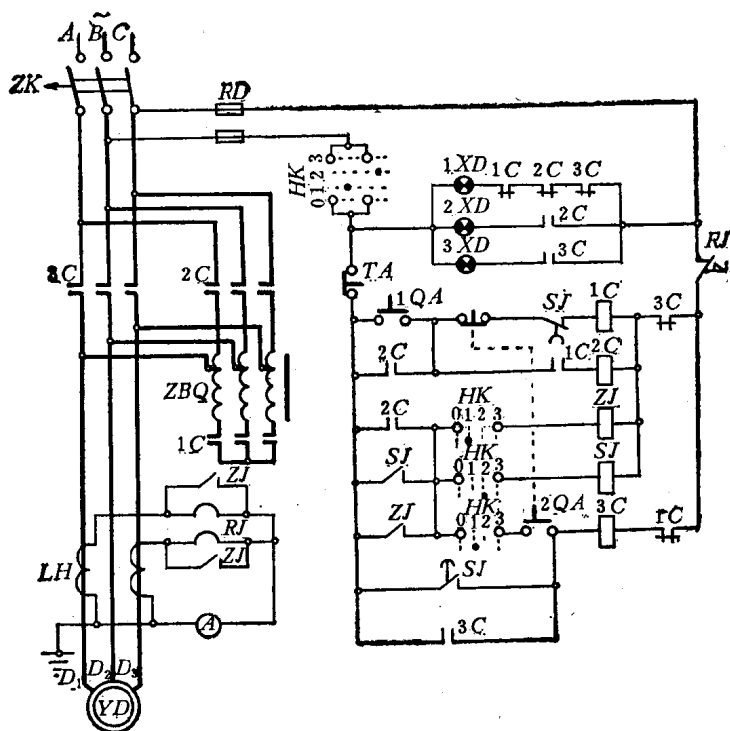


图 1-3

来使其线圈通电呢？其原因无非是认为图 1-3 中 3C 接触器线圈那样的自保持不可靠，担心 3C 线圈通电以后，在它还来不及自保持的时候，就有可能因为自身常闭辅助触点的打开而导致其线圈失去电源，从而使电动机无法正常起动。但是这个线路在容量大小不等的电动机控制上，都证实了这种担心是多余的。这个结论，也可以通过线路的分析来证明：1) 图 1-3 中的 3C 常闭辅助触点并不存在直接断开自身线圈电路的可能。如果说它的打开能够促使自身线圈失去电源，那也只能通过时间继电器 SJ 延时闭合的常开触点的释放来实现。但是从 SJ 线圈电路被断开到其触点释放，

中间需要一定的时间，不管这段时间如何短促，它是确实存在的。2) 接触器线圈通电以后，在衔铁被吸合的过程中，有这样一个特点：即其线圈电源被断开后的瞬间，衔铁还仍然能够继续前进一段距离。这一方面是由于惯性力的作用，另一方面是因为线圈断电后的瞬间，铁芯对衔铁尚有一定的电磁吸力。后者的存在主要来自铁芯本身的剩磁。接触器闭合过程中的这种特点，被称为它的闭合特性。

由于上述的两个原因，图1-3中的3C接触器就不存在什么来不及自保持的可能。由此看来，该线路之所以能够依靠自身常开辅助触点的闭合而使线圈电源自保持，主要是因为该线路在合理地设置各触点的同时，利用了接触器固有的闭合特性。换句话说，就是利用其闭合特性与各触点的相互配合，来保证线圈电源的自保持。

图1-3中的这个设计依据，在一般控制线路的设计中都是适用的，它可以用来简化线路和提高其工作的可靠性。

图1-4是另一个在生产现场经过长期试验和运行的自耦变压器减压起动控制线路。在这个线路的设计中，同样应用了那个普遍没有注意的设计依据，所以其电动机正常运转的时候，接触器2C线圈的电源也实现了自保持。该线路与图1-3相比，所不同的是仅使用了两台接触器——即所谓自耦变压器减压起动的“二接触器控制方案”，相对而言，图1-3就可以称为自耦变压器减压起动的“三接触器控制方案”。

四、自动与手动

为了提高生产效率，烦琐的手动操作应该尽可能考虑自动控制，而凡是具有自动控制的线路，也要尽量设置相应的手动控制，以防止自动控制损坏和失灵时整个控制线路无法正常工作——即可以避免立即停机的危险。在自动控制和手动控制两种运行方式同时存在的时候，线路平时运行于自动控制，一旦自动控制出现故障，线路可以立即进行手动操作，从而进一步提高了控制线路的可靠性；并且可以使一般的故障在不停机的情况下处