

主 编 李俊成 郭 刚
副主编 章明旺 贾智山 刘 伟

副主编 章明旺 贾智山 刘伟

 煤炭工业出版社

煤矿井下智能设备电气控制 实用技术

主 编 李俊成 郭 刚
副主编 章明旺 贾智山 刘 伟

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿井下智能设备电气控制实用技术/李俊成, 郭刚主编. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4381-0

I. ①煤… II. ①李… ②郭 III. ①矿用电气设备—电气控制
IV. ①TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 284412 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京市郑庄宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 27¹/₄ 插页 9
字数 648 千字 印数 1—5 000
2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 7213 定价 81.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书以先进的煤矿井下智能型采掘设备及控制设备为对象,着重介绍了采掘及控制设备的工作原理及 PLC 控制程序,主要包括矿井电气安全技术、电气设备防爆技术、PLC 技术与应用、变频器工作原理及应用;MG 系列交流变频电牵引采煤机、EBJ 系列智能控制掘进机、12CM 系列连续采煤机、移动变电站、高压智能真空配电箱、低压智能保护箱、智能真空多回路电磁启动器等智能型电气设备的工作原理、故障分析与排除。

本书着眼于煤矿井下生产实际应用,有针对性,实用性强,易于现场人员理解、掌握和应用,是煤矿机电工程技术人员和电气维护人员可以信赖的工具参考书,特别是对现代化矿井综采、综掘电气维修人员,有很好的指导作用。本书可作为煤炭类院校相关专业的教学参考书,也可作为煤矿企业相关工种的岗位技术培训教学用书。

前 言

随着煤炭行业现代化高产高效矿井建设的不断深入,煤矿机电装备向着大容量、高电压、智能化、高安全方向发展,更新换代的步伐不断加快,迫切要求煤矿机电技术人员更新专业知识,紧跟设备更新换代的步伐,掌握先进的科学技术,正确使用和维护生产设备,充分发挥先进煤机装备的优良效能,以适应现代化煤矿安全生产的高要求。

本书针对目前煤矿现场生产技术人员实际状况,结合现场安全生产及工艺过程对智能型电气设备的要求,有针对性地对矿井智能设备的使用和维护做了原理分析和 PLC 程序解释,旨在为煤矿井下现场作业人员在生产设备的安全使用、维护保养、故障检修过程中提供一些技术参考。本书介绍了移动变电站高压智能永磁真空配电箱、低压智能保护箱、智能真空多回路电磁启动器、MG 系列交流变频电牵引采煤机、EBJ 系列掘进机、ML 连续采煤机等井下智能电气设备,详细阐述了矿井电气安全技术、电气设备防爆技术、PLC 技术与应用、变频器工作原理及应用,并对目前煤矿井下基于 PLC 控制的电气设备的工作原理和 PLC 编程进行了重点分析和解释。

本书着眼于煤矿井下生产实际应用,实用性强,有针对性,易于现场人员理解、掌握和应用,是煤矿机电工程技术人员和电气维护人员的可以信赖的工具参考书,特别是对现代化矿井综采、综掘电气维修人员,有很好的指导作用。

本书由山西大同大学煤炭工程学院郭刚副教授和大同煤矿集团李俊成高级工程师担任主编;大同煤矿集团章明旺、贾智山,山西朔州煤炭设计院刘伟担任副主编;大同煤矿集团白宝国、山西焦煤集团汾西矿业公司孙东磊、山西煤炭运销集团忻州分公司赵越军参编。全书共 11 章,其中第 7、11 章由李俊成编写;第 1、10 章由郭刚编写;第 6、8 章由章明旺编写;第 5 章由贾智山编写;第 9 章由刘伟编写;第 4 章由白宝国编写;第 3 章由孙东磊编写;第 2 章由赵越军编写。郭刚负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中得到了同煤集团马脊梁矿培训学校邸满田校长的大力支持,在此表示衷心地感谢。

由于编者水平所限,书中错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 9 月

目 次

第1章 矿井电气安全技术.....	1
1.1 煤矿企业对供电的要求	1
1.2 煤矿井下供电模式	1
1.3 煤矿电气安全技术	3
1.4 矿用电气设备种类及其防爆技术.....	26
1.5 电气防爆检查.....	31
第2章 可编程控制器	36
2.1 可编程控制器概述.....	36
2.2 三菱小型可编程控制器.....	40
2.3 三菱小型可编程控制器指令系统.....	43
2.4 三菱小型可编程控制器编程工具	76
2.5 PLC 编程举例：MG 系列电牵引采煤机电气控制 PLC 编程	88
第3章 矿用变频器	97
3.1 变频器的结构及工作原理.....	97
3.2 变频器的应用	110
3.3 PLC 与变频器的通信	151
第4章 双向可控硅（晶闸管）交流调压软启动控制	165
4.1 软启动器电路的结构	165
4.2 双向可控硅（晶闸管）三相交流调压电路工作原理	166
4.3 QJR-250（160）/1140（660）Z 矿用隔爆兼本质安全型软启动器	177
第5章 矿用隔爆兼本质安全型多回路真空电磁启动器.....	190
5.1 QJGZ-3300 系列矿用隔爆兼本质安全型多回路高压真空 电磁启动器	190
5.2 QJZ-1140 系列矿用智能隔爆兼本质安全型多回路真空 电磁启动器	217
第6章 KBZ-630/1140（660）Z 矿用隔爆型智能真空馈电开关	257
6.1 概述	257

6.2	技术参数及主要性能	258
6.3	馈电开关结构	260
6.4	工作原理	262
6.5	控制接线	266
6.6	液晶显示器	267
6.7	保护设置	268
6.8	故障试验检测	269
6.9	馈电开关的操作	269
6.10	常见故障及排除	270
6.11	线束转换	270
第7章	KBSGZY 系列矿用隔爆型移动变电站	274
7.1	KBSG 系列干式变压器	274
7.2	BXB - □/1140(660)Y、BXB - □/3.3Y 矿用隔爆型移动变电站用 低压侧保护箱	278
7.3	KBG - □/6Y(KBG - □/10Y) 矿用隔爆型移变高压智能永磁 真空开关	290
第8章	PBG1 - 630 /6 矿用隔爆型高压真空配电装置	306
8.1	概述	306
8.2	结构及技术参数	307
8.3	机械分、合闸及闭锁结构	308
8.4	高压真空配电箱控制及保护电气系统	309
8.5	按钮的基本操作	317
第9章	交流变频电牵引采煤机	321
9.1	MG200/456 - QWD 电牵引采煤机概述	321
9.2	MG200/456 - QWD 采煤机电控箱	324
9.3	KJZ - 12C 电控装置	326
9.4	无线电遥控发射机	329
9.5	端头控制站	330
9.6	电磁阀、铂电阻、电缆系统	331
9.7	采煤机机外电气系统	331
9.8	采煤机电气系统操作	336
9.9	采煤机电气系统控制方式	339
9.10	MG200/456 - QWD 采煤机电气控制原理	339
9.11	MG456 采煤机 PLC 编程解释	347
9.12	电气系统故障分析及处理	352

第 10 章 掘进机电气系统	361
10.1 EBJ-120TP 掘进机概述	361
10.2 EBJ-120TP 型掘进机电气系统	366
10.3 EBJ-120TP 型掘进机电气系统接线	369
10.4 EBJ-120TP 型掘进机电气系统组成	369
10.5 EBJ-120TP 型掘进机送、停电先导控制	375
10.6 EBJ-120TP 型掘进机电气系统工作原理	375
10.7 EBJ-120TP 型掘进机保护系统工作原理	377
10.8 EBJ-120TP 型掘进机智能控制及保护 PLC 程序及解释	378
10.9 EBJ-120TP 型掘进机常见故障及处理方法	387
第 11 章 ML340 连续采煤机	390
11.1 ML340 连续采煤机概述	390
11.2 主要结构和工作简介	391
11.3 技术特性	393
11.4 作业操作步骤	396
11.5 ML340 连采机电控系统	397
11.6 ML340 连采机液压系统及水系统	400
11.7 ML340 连采机电控系统工作原理	401
11.8 ML340 连采机工作过程分析	403
11.9 ML340 连采机保护过程分析	411
11.10 ML340 连采机 PLC 程序	412
11.11 ML340 连采机常见故障分析与处理	418
参考文献	426

第1章 矿井电气安全技术

1.1 煤矿企业对供电的要求

煤矿井下环境恶劣,存在瓦斯、煤尘、顶板、水、火等危险有害因素,容易发生各种事故。为此,煤矿企业须采取相应措施控制和防范各种危险有害因素,防止其引发各类安全事故。

根据工作性质的不同,煤矿企业将用电负荷分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ3个类别。不同类别对供电有不同的要求。概括而言,即要求安全、可靠、经济、技术合理。

安全:必须确保煤矿所有生产机械设备的电气系统安全运行,保证不因电气故障引发安全事故。目前,通过设置漏电保护、过电流保护、保护接地和电压(过电压、欠电压)保护,采取防爆措施,对局部通风机的供电采用三专二闭锁(双电源双风机)控制系统等来确保电气系统和生产的安全。

可靠:煤矿企业均由国家电网取用电能,不直接从发电厂取电,以保证电源可靠;同时,根据负荷性质的要求采取双回路供电(即两个独立的电源、两趟独立的线路),确保供电系统的可靠程度。

经济:煤矿作为企业追求利润最大化是其本质,而追求利润势必考虑成本控制。根据不同类别性质的负荷,供电设计和设备选型应准确、合理,不出现大马拉小车和电能利用率不高的情况,尽量提高系统的功率因数和工作效率,以控制电气系统的成本。

技术合理:随着科学技术的不断发展,新技术、新工艺、新装备为煤矿企业的安全、高产、高效提供了强大的技术支撑。煤矿企业应积极淘汰落后的工艺和装备,大力推广应用新技术、新工艺、新装备。一方面贯彻落实国家规定按期淘汰的落后工艺和机电装备;另一方面为煤矿企业实现安全、高产、高效提供技术保障。

1.2 煤矿井下供电模式

目前,煤矿企业的供电模式有两种,即为煤矿地面生活系统供电的变压器中性点接地的三相四线制系统和为煤矿井下生产系统供电的变压器中性点绝缘的三相三线制系统。

《煤矿安全规程》第四百四十三条规定:严禁井下配电变压器中性点直接接地,严禁由地面中性点直接接地的变压器或发电机直接向井下供电。

1. 三相四线制供电系统

国家电网提供的是三相对称的频率为50 Hz的正弦交流电。

(1) 煤矿地面生活、办公系统是三相不对称负荷,如果不采取任何措施用三相对称电源直接为三相不对称负荷供电,每相负荷分得的电压不均,负荷重的将分得更高的电压,超过其额定电压,造成负荷损坏;负荷轻的将分得很低的电压,达不到其额定电压,造成负荷欠电压,无法正常工作。如三层楼分层供电,每层负荷不可能一样,就会出现上

述情况。图 1-1 所示为三相对称电源接三相不对称负载。

(2) 为了解决三相对称电源接三相不对称负载导致负载不能正常工作的问題，将变压器中性点接地，并引出零线，以钳制各相电压，保证各相负载得到稳定的相电压，以正常工作。由此，供电系统形成三相四线制，其中 A、B、C 相称为火线，N 相称为零线，如图 1-2 所示。

注意：三相四线制供电系统不允许总零线断开，否则就会出现三相对称电源为三相不对称负荷供电的情况，造成负荷损坏。

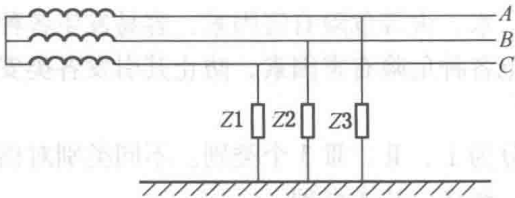


图 1-1 三相对称电源接三相不对称负载

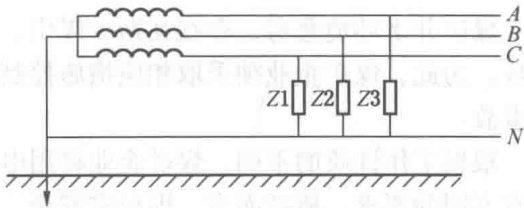


图 1-2 三相四线制供电系统接三相不对称负载

2. 三相三线制供电系统

煤矿井下生产设备的电气负荷均为三相交流异步电动机，其三相绕组参数一致，为三相对称绕组，即三相对称负载（图 1-3 中， $Z_1 = Z_2 = Z_3$ ）。将三相对称负载接入三相对称电源系统（图 1-3），三相负载的电压、电流平衡，即幅值相等、方向互差 120° 电角度，三相负载正常工作。

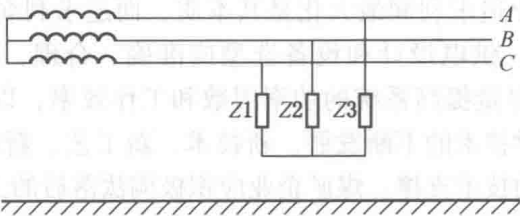


图 1-3 三相三线制供电系统接三相对称负载

3. 两种供电模式的比较

(1) 三相三线制供电系统的三相负载对称，三相负载的电压、电流平衡，三相电流的矢量和为零（即零序电流为零），不需电源回线，如图 1-4 所示。

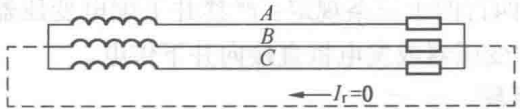


图 1-4 三相三线制供电系统接三相对称负载

(2) 三相四线制供电系统的三相负载不对称，三相负载的电压、电流不平衡，即它们的幅值大小不相等，如图 1-5 所示。通过零线分别组成单相回路，稳定电压（相电压），保证负荷正常工作。其零线参与工作，为工作线。

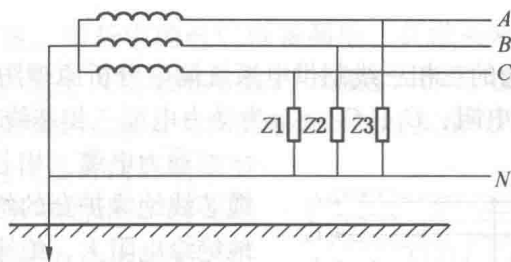


图 1-5 三相四线制供电系统接三相不对称负载

(3) 三相三线制供电模式为 3 条线路；发生单相漏电接地时，故障性质为漏电，入地电流相对较小，较安全。三相四线制供电模式为 4 条线路，且要很好地维护零线；发生单相漏电接地时，单相电源经零线直接回到电源，故障性质为单相短路，入地电流相对较大，不安全，如图 1-6 所示。二者相比，三相四线制供电模式供电线路多，且要维护零线，线路及维护成本较高；出现单相漏电接地时，短路故障造成的危害大。所以，《煤矿安全规程》规定：严禁井下配电变压器中性点直接接地，严禁由地面中性点直接接地的变压器或发电机直接向井下供电。

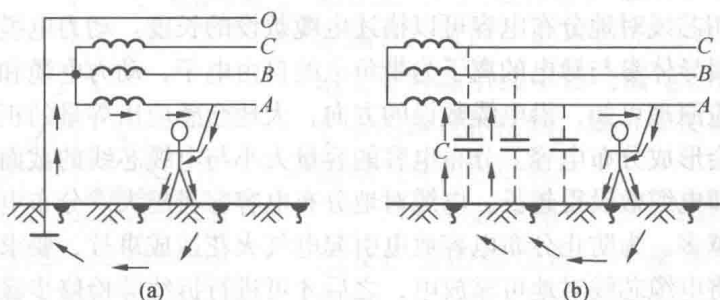


图 1-6 三相三线制与三相四线制供电模式的比较

1.3 煤矿电气安全技术

1.3.1 矿井电气安全“四保护”

煤矿井下中性点绝缘的三相三线制供电系统由变压器、控制开关、矿用电缆、防爆用电设备组成。

煤矿企业从国家电网取用电能，必须采用变压器将高电压变为电气设备的额定电压等级；供电线路采用矿用电缆供电；电气设备必须具备防爆功能。

供电系统中，变压器、控制开关、电气设备都具有坚固的防爆外壳，电缆是相对最薄弱的环节，现场作业过程中，电缆经常受到冒顶、片帮的砸压、机器碾压、地下水的侵蚀等，发生漏电、短路、缺相等故障的概率比较高，所以对矿用电缆的保护应高度重视。

为确保矿井电气安全，矿井供电系统必须设置漏电，过电流、过电压、欠电压保护和保护接地“四保护”，防止电气事故造成更大的损失。

1.3.1.1 漏电保护

1. 漏电分析

图 1-7 为中性点绝缘的三相三线制供电系统漏电分析原理图。图中， r_1 、 r_2 、 r_3 为动力电缆三相芯线对地绝缘电阻； C_1 、 C_2 、 C_3 为动力电缆三相芯线对地分布电容。

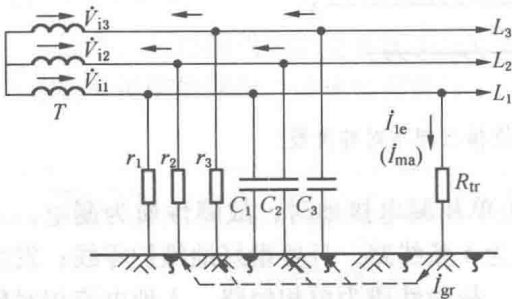


图 1-7 中性点绝缘的三相三线制
供电系统漏电分析原理图

系统运行过程中，动力电缆每相芯线对地绝缘电阻都承受相电压，根据欧姆定律可知，每相芯线对地都会形成泄漏电流。电缆绝缘护套绝缘性能良好时，绝缘电阻很大，对地泄漏电流很小（微安级），系统属正常状态。当电缆绝缘护套受损，绝缘性能下降时，绝缘电阻降低，对地泄漏电流增大（毫安级），当泄漏电流达到 30 mA（人体安全电流）或 30 mA 以上时，系统属故障状态，简称漏电。

动力电缆三相芯线对地分布电容可以描述电缆敷设的长度。动力电缆工作时，其芯线中流过电流，金属导体参与导电的离子为带负电的自由电子，动力电缆和大地之间靠橡胶绝缘，由电荷感应原理可知，沿电缆敷设的方向，大地会感应出等量的正电荷，由此电缆芯线和大地间就会形成分布电容。分布电容的容量大小与电缆芯线的截面及电缆敷设的长度成正比关系，即电缆敷设得越长，电缆对地分布电容容量越大。分布电容容量越大，其中储存的电荷量越多。为防止分布电容放电引起电气火花造成事故，要求矿井电气维修人员在维修前必须将电缆芯线对地可靠放电，之后才可进行拆线等检修步骤。

系统发生单相漏电时，如图 1-7 所示，漏电电流 $\dot{i}_{le}$ 经过渡电阻 R_{tr} 入地，经过 L_2 、 L_3 两相对地分布电容和绝缘电阻流回电网，再经 L_2 、 L_3 线路和变压器绕组回到中性点。

若用人体电阻 R_{ma} 代替过渡电阻 R_{tr} ，则电流 $\dot{i}_{gr}$ 就是通过人身的触电电流 $\dot{i}_{ma}$ ； $\dot{i}_{ma} = U_p / R_{ma} +$ 另两相电缆芯线对地分布电容的放电电流。流过人体的电流会远远超过人身安全电流 30 mA，造成触电身亡事故。

当过渡电阻 $R_{tr} = 0$ 时，电网发生直接接地故障，此时，漏电电流 $\dot{i}_{gr}$ 最大，接地点会产生能量很大的电气火花，引起其他重大恶性事故，如瓦斯爆炸等。

2. 漏电的种类

(1) 集中性漏电与分散性漏电。

集中性漏电，是指发生在电网中的某一处或某一点，而其余部分的对地绝缘水平仍然正常的漏电；分散性漏电，是指整条线路或整个电网的对地绝缘水平均匀下降到低于允许水平的漏电。

(2) 单相漏电、二相漏电、三相漏电。

单相漏电和二相漏电属于不对称性故障，三相漏电属于对称性故障。

3. 漏电的危害

(1) 发生人身触电事故。运行中的电气设备漏电，其设备外壳带电，工作人员因工作需要接触设备的外壳时，发生人身触电事故，当流过人体的电流与时间大于 $30 \text{ mA} \cdot \text{s}$ 时，人身有生命危险。我国规定：流过人体的电流与时间安全极限值为 $30 \text{ mA} \cdot \text{s}$ 。

如图 1-8 所示，当电气设备内部绝缘损坏发生一相碰壳时：由于外壳带电，当人触及外壳，接地电流 I_e 将经过人体入地后，再经其他两相对地绝缘电阻 R' 及分布电容 C' 回到电源。当 R' 较低、 C' 较大时， I_e 将达到或超过危险值。

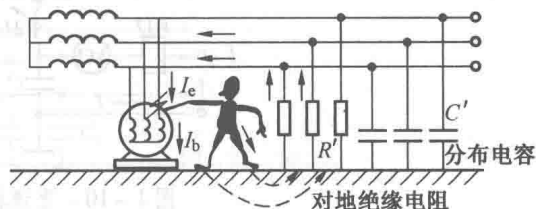


图 1-8 中性点绝缘的三相三线制供电系统人身触电分析原理图

(2) 引起瓦斯和煤尘爆炸。煤矿井下空气中的瓦斯浓度或煤尘在空气中悬浮的浓度达到爆炸浓度时，而漏电电流产生的点火源能量达到 0.28 mJ 以上时，即发生瓦斯或煤尘爆炸。瓦斯爆炸往往伴随着煤尘爆炸，将带来毁灭性的灾难。

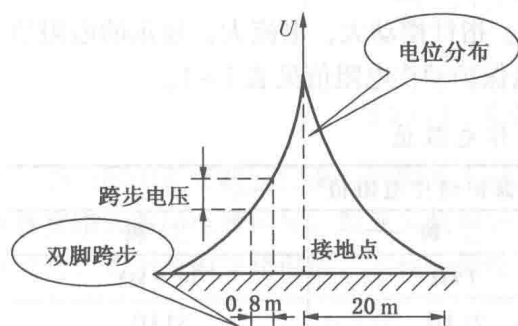


图 1-9 漏电点形成跨步电压原理图

(3) 使电雷管误引爆。漏电电流在通过的路径上会产生电位差，如图 1-9 所示。漏电电流越大，所产生的电位差越大。如果待引爆的电雷管两端引线不慎与漏电回路上具有一定电位差的两点相接触，就可能使电雷管提前引爆，造成人身伤亡事故。

(4) 引起短路事故。长期的漏电电流使电缆及设备的绝缘进一步损坏，最后造成短路事故。

(5) 烧毁电气设备，引起火灾。长期存在的漏电电流，尤其是经过电阻接地的漏电电流，在通过设备绝缘损坏处时，产生大量的热量，使绝缘进一步损坏，甚至使可燃性材料，如非阻燃性橡胶电缆着火燃烧。

4. 漏电的原因

- (1) 电气设备或电缆绝缘损坏引起漏电。
- (2) 电缆的接线安装不当引起漏电。
- (3) 管理不完善造成电缆漏电。

5. 漏电保护模式

(1) 附加电源直流检测式。如图 1-10 所示，直流检测电流 I 的通路为： L_+ →大地→电网对地绝缘电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 （三相并联）→电网→三相电抗器 $1L$ →零序电抗器 $2L$ → $k\Omega$ 表→直流继电器 KD 线圈→ L_- 。

三相电抗器 $1L$ 是将直流检测回路和交流电网连接起来的元件，其中有一相带有二次绕组，经整流作为直流检测回路的电源和指示灯电源；该二次绕组带有抽头，以便于调整直流电源的电压。

零序电抗器 $2L$ 的作用有两个，一是保证三相电抗器中性点对地的绝缘水平（自身的

电抗为 100 kΩ)，二是通过它的电感电流来补偿电缆对地分布电容电流。

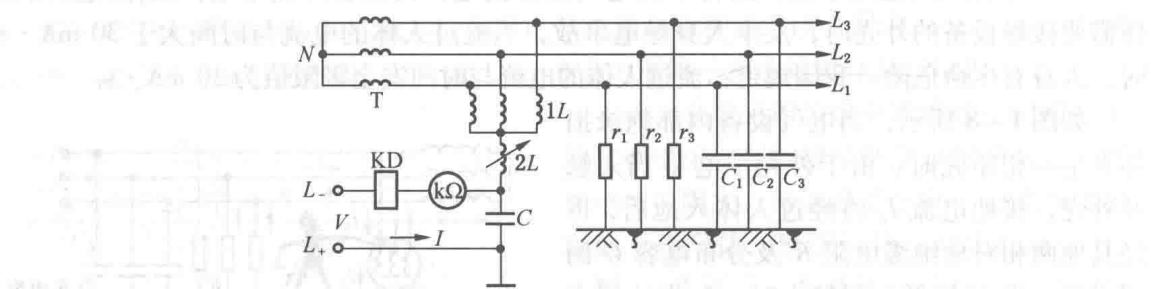


图 1-10 直流检测式漏电保护原理图

接地电容 C_2 在当电网发生漏电时，提供交流通路，从而减小交流电流对直流继电器 KD 回路的干扰。

直流继电器 KD 在绝缘电阻下降到临界值以下时，直流测量回路电流达到直流继电器动作整定值，直流继电器吸合，其接点 KD1 闭合，使馈电开关的脱扣器动作，完成馈电开关跳闸断电的保护任务。

电阻表 kΩ 实为直流 mA 表，刻度标为电阻值。指针摆动大，电流大，显示的电阻值小；指针摆动小，电流小，显示的电阻值大。漏电保护动作电阻值见表 1-1。

表 1-1 漏电保护动作电阻值

电 压 等 级	漏 电 保 护 动 作 电 阻 值		
	单 相	二 相	三 相
380 V	3.5 kΩ	7 kΩ	10.5 kΩ
660 V	11 kΩ	22 kΩ	33 kΩ
1140 V	20 kΩ	40 kΩ	60 kΩ
3300 V	50 kΩ	100 kΩ	150 kΩ

注：漏电闭锁值为漏电动作值的 2 倍。

(2) 零序电流式漏电保护。

如图 1-11 所示，电网中发生单相或两相不对称漏电故障时，就会产生零序电压，此时如果存在零序电流回路，则在该回路中将出现零序电流，该电流用零序电流互感器检测出来，经过信号处理电路，使继电器动作，其接点闭合，馈电开关的脱扣器动作，馈电开关跳闸，切断故障线路，实施漏电保护。

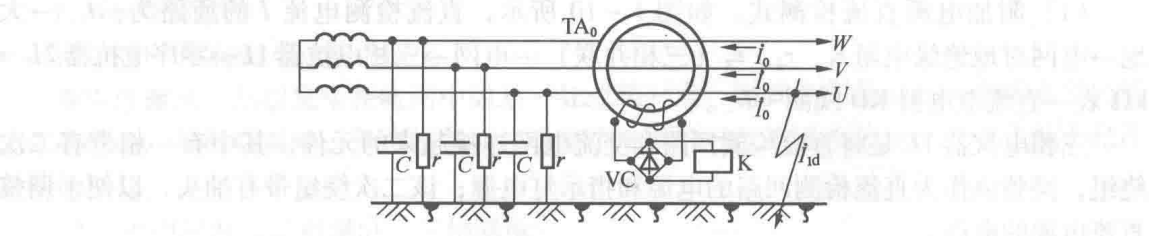


图 1-11 零序电流漏电保护原理图

(3) 零序功率方向式漏电保护。

零序功率方向保护原理图如图 1-12 所示。利用零序电流或零序电压的幅值大小来判断供电线路是否发生了漏电；同时，利用各支路的零序电流与零序电压的相位关系来判断故障支路，实现有选择性的漏电保护。

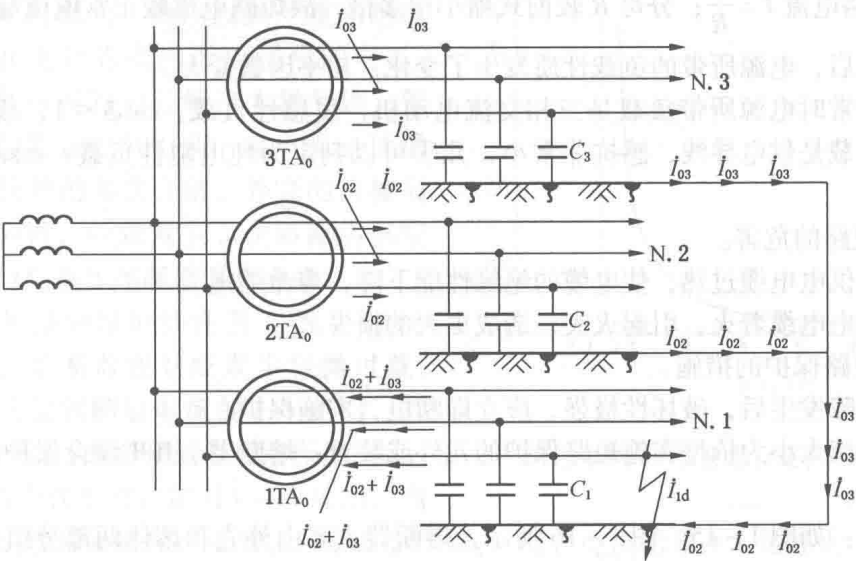


图 1-12 零序功率方向保护原理图

当电网中某支路发生漏电故障或人身触电时，由传感电路分别从电网中取出零序电压和各支路的零序电流信号，经放大整形后，由相位比较电路来判别故障支路，最后启动执行电路，切断故障支路电源，实现选择性漏电保护，如图 1-13 所示。

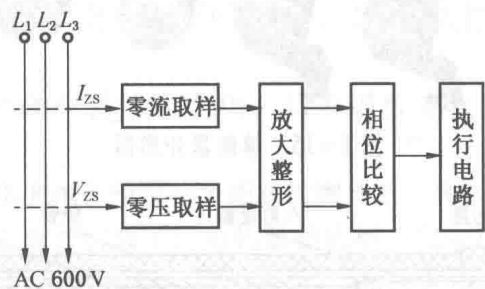


图 1-13 选择性漏电保护原理图

1.3.1.2 过电流保护

过电流：系统实际运行电流超过额定电流即称为过电流。过电流故障包括短路、过载、断相（三相电流严重不平衡）。短路故障分析原理图如图1-14所示。

1. 短路保护

(1) 短路：电源（变压器）经小阻抗直接形成回路即短路。

(2) 电路发生短路以后的现象分析。

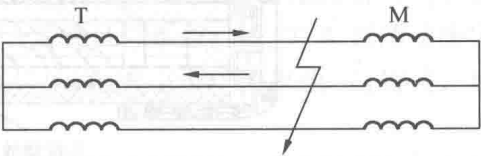


图 1-14 短路故障分析原理图

①电路发生短路，短路回路电流急剧增大，是正常运行电流的几十倍或更大。

电路正常时，电路电流 $I = \frac{U}{R + X_L}$ ；其中 $X_L = 2\pi fL$ ，因为分母 $R + X_L$ 较大，故线路电流较小。若线路在某点短路，则电源经小阻抗直接形成回路，线路中的阻抗非常小，为 $X_L \sim 0$ ；短路电流 $I = \frac{U}{R}$ ；分母 R 较前式缩小很多倍，故短路电流较正常电流放大许多倍。

②短路后，电源所带的负载性质发生了变化，功率因数变大。

电路正常时电源所带负载是三相交流电动机，属感性负载， $\cos\phi < 1$ ；线路短路后，电源所带负载是供电导线，感抗非常小，几乎可以判定为纯电阻性负载； $\cos\phi = 1$ （ $\cos\phi$ 趋向于 1）。

（3）短路的危害。

①引起供电电缆过热，使电缆的绝缘性能下降，寿命缩短。

②使供电电缆着火，引起火灾，造成更大的损失。

（4）短路保护的措施。

短路故障发生后，破坏性极强，应立即断电，实施保护。

①以电流大小为依据实施短路保护的元件或装置：熔断器、JLB 综合保护器、电流取样智能保护。

熔断器：如图 1-15、图 1-16 所示，熔断器主要由外壳和熔体两部分组成。根据用途的不同，外壳由电工陶瓷或有机纤维制成。熔体用熔点为 $200 \sim 420\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的铅、锡、锌合



图 1-15 熔断器外形图

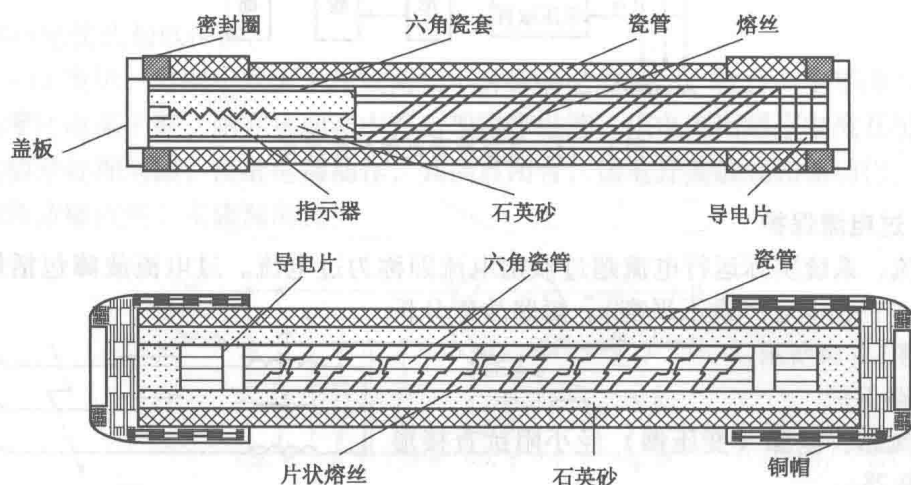


图 1-16 熔断器结构图

金制成。熔断器串联在电路中，当电路发生短路或严重过负荷时，大电流使熔体发热而熔断，切断了故障电路，实现短路保护。RM1 和 RM10 系列为无填料、密封管式熔断器，有机纤维制成的外壳内装的变截面锌片熔体，以提高熔断器的保护性能。

变截面的熔体在电流突然增大时，由于窄截面处电阻大，所以发热严重而迅速熔化，并在密封管壳内形成强烈的电弧，电弧高温使纤维管壳分解出大量气体，管内高压气体阻止空气电离，将电弧迅速熄灭。随着管壁的多次分解，外壳的机械强度降低，因此，一般发生 3 次短路后就应该更换，以免造成熔断器爆炸事故。

从熔断器的保护特性图（图 1-17）可以看出，熔断器在系统发生轻微过载，如实际电流达到额定电流的 1.5 倍时，其不熔断，所以熔断器只能作短路保护。

JLB 综合保护器：如图 1-18 所示，当运行中发生短路故障时， $I \geq 8I_N$ （或 $10I_N$ 、 $12I_N$ ）时，电流信号 VA 足够大，不经延时环节，直接触发由场效应管 VT₅ 和 VT₆ 组成的触发器，使 6K 继电器动作，6K 为磁保持继电器，不能自动复位，6K₁ 打开了接触器线圈控制回路，使真空开关跳闸。

电流取样智能保护：如图 1-19 所示，电流互感器将电流取样信息输送至 A/D 转换电路，将模拟信号转换为数字信号，再将数字信号送 PLC 对主回路的电流状态进行实时监控；当采样信号超过短路整定值时，PLC 发出保护指令，输出端口使中间继电器 K4 吸合，其常闭接点打开，断开真空接触器线圈电路，真空触头打开，切断短路电流，实施短路保护。

②以电源所带的负载性质发生变化，功率因数变大为依据的相敏短路保护装置。

相敏短路保护装置要求在各相设一个相敏检测环节。现以 A 相为例说明其工作原理。如图 1-20 所示，4 只二极管组成了环形相敏整流桥，以电压互感器送来的相电压信号 U_A 为桥路的工作电源（ U_A 短路前后可视为不变）。从 A 相电流互感器测得的电流信号 $\dot{I}_A$ 经电阻 R 变为电压 $\dot{U}_i$ ，反映 A 相电流的大小。相敏整流输出电压 $\dot{U}_{OA}$ 由电阻 R_z 取得。当 $\dot{U}_i = 0$ 时，在 $\dot{U}_A$ 的正半波（左 + 右 -），D₃、D₄ 导通。由于 D₃ 导通与 D₄ 导通后在电阻 R_z 上形成的电流大小相等，方向相反，故合成电流为零， $\dot{U}_{OA}$ 无输出；同理，在 $\dot{U}_A$ 的负半波时，D₁、D₂ 导通， $\dot{U}_{OA}$ 仍无输出。当 $\dot{U}_i \neq 0$ 时，由相敏整流的原理可知，在保持 $\dot{U}_A > \dot{U}_i$ 的情况下，D₁、D₂ 和 D₃、D₄ 两两交替导通，4 只二极管的电流以不同的方向流经电阻 R_z ，在 R_z 上所形成的平均电压为 $\dot{U}_{OA} = K \dot{U}_A \dot{U}_i \cos \phi_A$ ，其中， K 为计算系数； ϕ_A 为 A 相的功率因数角。由于相电压 $\dot{U}_A$ 在短路前后可视为不变，所以 $\dot{U}_{OA}$ 的大小不仅与电流 $\dot{I}_A$ 有关，而且与 $\cos \phi_A$ 有关。

相敏短路保护原理框图如图 1-21 所示，每两相的相敏检测环节，采集的信号一起送往 $\cos \phi$ 比较鉴别环节，若无相间短路，则两相输出相同，鉴别环节无输出；若出现相间

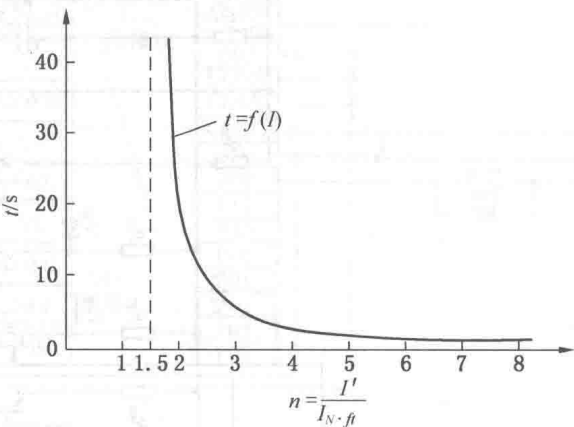


图 1-17 熔断器的保护特性图