



劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

电气设备故障 检测与维护

DIANQI SHEBEI GUZHANG JIANCE YU WEIHU

王国贞 主编

冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐
冶金行业职业教育培训规划教材

电气设备故障检测与维护

主 编 王国贞
副主编 张惠荣 韩提文
主 审 赵文宏

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2005

内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本书介绍了工厂中常用电气设备的维护及常见故障的判断和处理,电气设备故障的检查方法及新的故障检测仪器和技术,可编程控制器和变频器的使用、维护及故障判断等知识。

本书也可作为职业技术学院相关专业的教材,或工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备故障检测与维护/王国贞主编. —北京:
冶金工业出版社,2005.6

ISBN 7-5024-3576-X

I. 电… II. 王… III. ①电气设备—故障检测
②电气设备—故障修复 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 142468 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 宋 良 刘 源 美术编辑 王耀忠

责任校对 白 迅 李文彦 责任印制 牛晓波

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005 年 6 月第 1 版,2005 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12 印张; 286 千字; 178 页; 1-5000 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在 2003 年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

电气设备的安全运行,直接关系到生产人员和设备的安全。电气设备运行时,设备运行人员应加强巡视检查,一旦发生异常时,应能迅速判断并正确处理。新参加电气设备运行、检修和调试的人员,往往对设备的故障测寻感到困难,即使是有一定工作经验的人员,也难以全面掌握各种设备的故障检测技术。因此,广大供电、用电部门的技术人员和工人热切希望能有一些关于电气设备故障检测技术方面的培训教材。

本书就是为上述目的而撰写的,书中主要介绍了常用电气设备的运行、维护与维修,故障分析与处理。本书中大部分内容取自生产实践中的经验总结,联系实际,通俗易懂,可供有关人员系统学习或遇到问题时查阅。

本书可作为相关企业的技能培训教材或相关专业的职业技术学院教材,也可供从事电气设备维护工作的工程技术人员参考。

本书由河北工业职业技术学院王国贞任主编,河北工业职业技术学院张惠荣、韩提文任副主编。第1、2、3、4、8、9章由王国贞编写;第5、6、7章由张惠荣、韩提文编写;北京矿院附中杨华参与了部分章节的编写;石家庄车辆厂电工技师刘建明、杨永华为本书提供了部分资料。石家庄钢铁有限责任公司高级工程师赵文宏主审本书初稿,提出了宝贵意见。

由于水平所限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2004年10月

目 录

1 电气设备故障检测与维护概论	1
1.1 工厂供电系统基本知识	1
1.1.1 工厂供电系统的基本组成	1
1.1.2 工厂供电系统的基本概念和基本知识	2
1.2 电气设备故障检测和维护概论	8
1.2.1 离线监测	9
1.2.2 在线监测	9
1.2.3 电气设备故障监测的特殊性	10
1.2.4 电气故障的关键参数	10
复习思考题	13
2 电气设备故障检测方法	14
2.1 利用人的感官检查设备故障	14
2.1.1 通过对声音和振动的观测发现故障	14
2.1.2 从温度的变化发现故障	16
2.2 利用专用仪器检查设备	23
2.2.1 绝缘的检测	23
2.2.2 温度的检测	24
复习思考题	26
3 变压器的故障检测与维护	28
3.1 常见故障原因和种类	28
3.1.1 变压器故障的原因	28
3.1.2 变压器故障的种类	29
3.2 日常检查发现的异常现象、原因与对策	29
3.3 日常维护与维修项目	31
3.3.1 日常维护项目	31
3.3.2 变压器的特殊检查项目	32
3.3.3 变压器的定期检查项目	32
3.3.4 变压器的特殊巡视检查	32
3.3.5 变压器的检修	32
3.3.6 变压器不吊心检查	33
3.3.7 变压器吊心检修	34

3.3.8 其他部件的检修	36
复习思考题	38
4 电动机的故障检测与维护	40
4.1 检测与维护要点	40
4.1.1 日常的检查	40
4.1.2 月度检查	41
4.1.3 年度检查	42
4.1.4 电动机的具体检查项目	43
4.2 三相异步电动机的故障检测与维护	45
4.2.1 电动机启动前后的检查与维护	45
4.2.2 常见故障与处理	46
4.3 直流电动机的故障检测与维护	49
4.3.1 直流电动机运行与维护	49
4.3.2 直流电动机常见故障与处理	51
4.4 冶金用三相异步电动机的故障检测与维护	55
复习思考题	56
5 断路器的故障检测与维护	58
5.1 断路器的种类	58
5.2 断路器的维护	58
5.2.1 油断路器的维护	58
5.2.2 真空断路器的维护	62
5.2.3 低压断路器的维护	67
5.3 断路器常见故障与处理	68
5.3.1 高压断路器常见故障及处理	68
5.3.2 低压断路器常见故障及处理	70
复习思考题	72
6 电气线路的维护与检修	73
6.1 架空线路的维护与检修	73
6.1.1 架空线路的组成	73
6.1.2 架空线路的维护与故障检测	74
6.2 电缆的维护与检修	77
6.2.1 日常维护检查	78
6.2.2 定期试验项目	79
6.2.3 常见故障与处理	80
6.3 母线和室内配线的维护	83
6.3.1 母线的日常维护与故障检修	83

6.3.2 室内配线的维护与检修	84
复习思考题	88
7 互感器的故障检测与维护	89
7.1 互感器的选择和应用	89
7.1.1 互感器基本原理和接线方式	89
7.1.2 互感器的选择和应用	91
7.2 检查与维护要点	94
7.2.1 电流互感器的检查与维护	94
7.2.2 电压互感器的检查与维护	96
7.3 常见故障与处理	96
7.3.1 电流互感器常见故障与处理	97
7.3.2 电压互感器常见故障与处理	98
复习思考题	99
8 可编程控制器的使用与维护	100
8.1 可编程控制器的基本组成和工作原理	100
8.1.1 可编程控制器的基本组成	100
8.1.2 可编程控制器的软件及编程语言	112
8.1.3 可编程控制器的工作原理	115
8.2 可编程控制器的安装	117
8.2.1 安放环境	117
8.2.2 配线时的注意事项	119
8.3 可编程控制器的维护和故障诊断	120
8.3.1 检查与维护	121
8.3.2 故障查找	122
8.3.3 故障处理	126
复习思考题	129
9 变频器使用与维护	130
9.1 变频技术概述	130
9.1.1 变频器常用电力半导体器件及其应用	131
9.1.2 使用变频器的目的	135
9.1.3 变频器的发展概况	140
9.1.4 通用变频器的基本工作原理	143
9.1.5 通用变频器的基本结构	145
9.1.6 由通用变频器组成的调速系统	149
9.1.7 变频器的外围设备及其选择	152
9.2 变频技术在冶金企业的应用	154

9.2.1 炼钢转炉倾动机构的变频调速	154
9.2.2 轧钢厂输送辊道的变频调速	156
9.2.3 轧机主驱动的变频调速	159
9.3 变频器安装、接线、维护及故障诊断	161
9.3.1 变频器的安装与接线	161
9.3.2 变频器的试运行、保养和检查	163
9.3.3 变频器的故障查找	166
复习思考题	172
 附录 电气日常用图形符号和文字符号对照表	 173
 参考文献	 178

1 电气设备故障检测与维护概论

1.1 工厂供配电系统基本知识

作为电气工作人员,应站在系统的角度来理解工作中遇到的问题。在故障检测与维护过程中,也应有系统观,避免知其然而不知其所以然。

1.1.1 工厂供配电系统的基本组成

工厂供配电系统是电力系统的重要组成部分,工业用电量已占全部用电量的50%~70%,是电力系统的最大电能用户。它由总降压变电所、高压配电所、配电线路、车间变电所和用电设备组成。图1-1是工厂供配电系统结构框图。

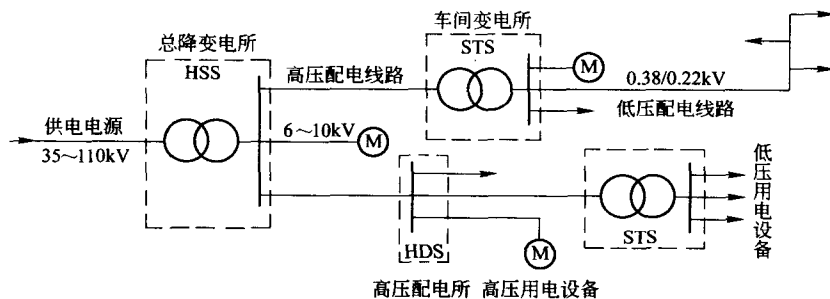


图1-1 工厂供配电系统结构框图

总降压变电所是工厂电能供应的枢纽。它将35~110kV的外部供电电源电压降为6~10kV高压配电电压,供给高压配电所、车间变电所和高压用电设备。

高压配电所集中接受6~10kV电压,再分配到附近各车间变电所和高压用电设备。一般负荷分散、厂区大的大型工厂设置高压配电所。

配电线路分为6~10kV厂内高压配电线路和380/220V厂内低压配电线路。高压配电线路将总降压变电所与高压配电所、车间变电所和高压用电设备连接起来。低压配电线路将车间变电所的380/220V电压送至各低压用电设备。

车间变电所将6~10kV电压降为380/220V电压供低压用电设备用。

用电设备按用途可分为动力用电设备、工艺用电设备、电热用电设备、试验用电设备和照明用电设备等。

应当指出,对于某个具体工厂的供配电系统,可能上述各部分都有也可能只有其中的几个部分,这主要取决于工厂电力负荷的大小和厂区的大小。不同工厂的供配电系统,不仅组成不完全相同而且相同部分的构成也会有较大的差异。通常大型工厂都设总降压变电所,中小型工厂仅设全厂6~10kV变电所或配电所,某些特别重要的工厂还设自备发电厂作为备用电源。

1.1.2 工厂供配电系统的基本概念和基本知识

1.1.2.1 电力系统的额定电压

电力系统的额定电压包括电力系统中各种发电、供电、用电设备的额定电压。额定电压是使电气设备处于最佳工作状态的电压,它是国家根据国民经济发展的需要,电力工业的发展水平和趋势,经全面技术经济分析后确定的。我国规定的三相交流电网和电气设备的额定电压,如表 1-1 所示。

表 1-1 我国交流电网和电气设备的额定电压

分 类	发电机的额定 电压/kV	电网和用电设备的 额定电压/kV	电力变压器的额定电压/kV	
			一 次 绕 组	二 次 绕 组
低 压	0.4	0.38	0.38	0.4
	0.69	0.66	0.66	0.69
高 压	3.15	3	3,3.15	3.15,3.3
	6.3	6	6,6.3	6.3,6.6
	10.5	10	10,10.5	10.5,11
	13.8,15.75,18,20, 22,24,26	—	13.8,15.75,18,20, 22,24,26	—
	—	35	35	38.5
	—	66	66	72.6
	—	110	110	121
	—	220	220	242
	—	330	330	363
	—	500	500	550

从表中可看出:用电设备的额定电压和电网的电压一致,发电机和变压器二次绕组的额定电压高于电网和用电设备的额定电压。

发电机额定电压高于电网和用电设备的额定电压是因为考虑到线路在输送负荷电流时必然产生电压损失,发电机的额定电压比电网电压高 5%,便是为了补偿线路上的电压损失,例如电网的额定电压为 10kV,则发电机的额定电压为 10.5kV。

至于变压器的二次额定电压高出电网和用电设备的额定电压 10%,其原因是变压器的二次额定电压是指空载电压而言,当变压器通过额定负荷电流时,变压器绕组的电压损失约为电网额定电压的 5%。和发电机一样,它仍应比用电设备电压高 5% 左右,以补偿线路上的电压损失。

用电设备的额定电压虽然规定得与电网的额定电压相一致,但电网中由于电压损失的影响,各处的电压是不一样的。而且由于负荷的变化,电压损失也不可能维持在一个恒定的数值,所以要使加于用电设备处的电网电压与用电设备的额定电压始终相同,既难做到,也无必要。所以,一些国家规定低压用户供电电压变动不超过 $\pm 5\% \sim 6\%$,高压用户根据负荷大小的不同,一般不超过 $\pm 5\% \sim 7\%$,这也就是电源电压维持比线路电压高 5% 的原因。因为在这种情况下,所有接在该级线路的用电设备,都能够与其额定电压相接近的情况下工作。

在选用和更换电气设备时,一定要注意设备的额定电压的一致性。

1.1.2.2 供电质量的主要指标

决定工厂用户供电质量的指标为:电压、频率、可靠性。

A 电压

加于用电设备端的线路实际电压与用电设备的额定电压差别较大时,对用户设备的危害很大。以照明用的白炽灯为例,当加于灯泡的电压低于其额定电压时,发光效率将降低。发光效率的降低使工人的身体健康受影响,也会降低劳动生产率。当电压高于额定电压时,则使灯泡经常损坏,例如某工厂由于夜间电压比灯泡额定电压高 5%~10%,致使灯泡损坏率达 30% 以上。

对电动机而言,当电压降低时,转矩急剧减小。例如当电压降低 20%,转矩将降低到额定值的 64%,电流增加约 20%~35%,温度升高约 12~15℃,转矩减小,使电动机转速降低,甚至停转,导致工厂产生废品甚至招致重大事故,异步电动机本身也将因为滑差增大致使有功功率损耗增加,绕组过热,绝缘迅速老化,甚至烧坏。

某些电热及冶炼设备对电压的要求非常严格,电压降低使生产率下降,能耗显著上升,成本增高。

电网容量扩大和电压等级增多后,保持各级电网和用户电压正常是比较复杂的工作,因此,供电单位除规定用户电压质量标准外,还进行无功补偿和调压规划的设计工作,以及安装必要的无功电源和调压设备,并对用户用电和电网运行也作了一些规定与要求。

以上谈到的是供电电压量上的要求,还有由于供电电压畸变,不是正弦波形的问题。

近年来,由于大型可控整流装置的利用,供电系统中电压、电流出现高次谐波。这种高次谐波产生的谐波压降,使发电机的端电压波形畸变,增加附加损耗,促使绝缘老化,从而使维护管理工作量增加之外,对工厂用户也产生严重的影响。如高次谐波电流使电网电流有效值增加,电阻也因集肤效应的影响而相应增大,致使线路中产生附加的功率及能量损失;高次谐波电流加大了旋转电机、变压器、电缆等电气元件中绝缘介质的电离过程,使其发热量增加,寿命降低;特别是对静电电容器,高频电流使其发热量超过正常值,绝缘老化过程加速,例如 5% 的高次谐波电流,使介质损失角一年增加到两倍以上。由于消弧绕组不能全部补偿系统中的电容电流,元件绝缘的老化使单相接地比较容易发展为两相接地,降低了用户用电的可靠性。高次谐波电流除对电气设备产生不良影响之外,而且也波及到自动化、远动控制、通讯等领域,使它们的工作都受到干扰和破坏,质量降低。

B 频率

我国工业上的标准电流频率为 50Hz,除此而外,在工厂的某些方面有时采用较高的频率,以减轻设备重量,提高生产效率。如汽车制造或其他大型流水作业的装配车间,采用频率为 175~180Hz 的高频设备,某些机床采用 400Hz 的电机以提高切削速度,锻压、热处理及熔炼利用高频加热等。

电网低频率运行时,所有用户的交流电动机转速都将相应降低,因而许多工厂的产量和质量都将不同程度地受到影响。例如频率降至 48Hz 时,电动机转速降低 4%,冶金、化工、机械、纺织、造纸等工业的产量相应降低,有些工业产品的质量也会受到影响,如纺织品断线、疵点,纸张厚薄不匀,印刷品墨色深浅不匀,计算机发生误计算和误打印,信号误显示等。

频率的变化对电力系统运行的稳定性影响很大,因而对频率的要求比对电压的要求严格得多,一般不得超过 $\pm 0.5\%$ 。

C 可靠性

电气设备的可靠性,即根据用电负荷的性质和事故停电将在政治、经济上造成的影响或损失程度,对电气设备提出的不中断供电的要求。用电负荷分为下列三级:

- (1) 一级负荷。突然停电将造成人身伤亡危险,或重大设备损坏且难以修复,或在政治上、经济上造成重大损失者。
- (2) 二级负荷。突然停电将产生大量废品,损坏生产设备等,在经济上造成较大损失者。
- (3) 三级负荷。停电损失不大者。

各级用电负荷的供电方式,应根据地区供电条件,按下列条件考虑决定:

一级负荷应由两个独立电源供电,有特殊要求的一级负荷,两个独立电源且应来自不同的地点。独立电源的定义是:若干电源中,任一电源发生故障或停止供电时,不影响其他电源继续供电,这些电源均称为独立电源。

二级负荷一般由两回线路供电。当取得两回线路有困难时,允许由一回专用线路供电,但对人员密集的重要公共建筑物,允许由一回线路供电。对重要的二级负荷,其二回电源线路应引自不同的变压器或母线段。

三级负荷对供电电源无特殊要求。

负荷分级问题非常复杂,同样的生产机械,但不同容量,或设置于不同工厂,其分级就可能不同,某些一级负荷也有极小间隙停电的可能。因此,必须对各个工厂不同设备的使用情况进行实事求是的调查分析。

用电负荷还可按其工作制分为:

(1) 连续工作制负荷。连续工作制负荷用于长时间连续工作的用电设备,其特点是负荷比较稳定,连续工作发热使其达到热平衡状态,其温度达到稳定温度。工厂用电设备大都属于这类设备,如泵类、通风机、压缩机、电炉、运输设备、照明设备等。

(2) 短时工作制负荷。短时工作制负荷用于工作时间短、停歇时间长的用电设备。其运行特点为工作时其温度达不到稳定温度,停歇时其温度降到环境温度。这种工作制在用电设备中所占比例很小,如机床的横梁升降、刀架快速移动电动机、闸门电动机等。

(3) 反复短时工作制负荷。反复短时工作制负荷用于时而工作、时而停歇、反复运行的用电设备,其运行特点为工作时温度达不到稳定温度,停歇时也达不到环境温度,如起重机、电梯、电焊机等。

1.1.2.3 短路

电气设备会遇到很多的电气故障,其中最严重的故障是短路故障。短路是不同相之间、相对中线或地线之间的直接金属性连接或经小阻抗连接。

三相交流系统的短路种类主要有三相短路、两相短路、单相短路和两相接地短路。三相短路指供电系统三相导体间的短路;两相短路指三相供电系统中任意两相导体间的短路;单相短路指供电系统中任一相经大地与中性点或与中线发生的短路。上述各种短路中,三相短路属对称短路,其他短路属不对称短路。在电力系统中,发生单相短路的可能性最大,发生三相短路的可能性最小;但通常三相短路的短路电流最大,危害也最严重。

短路发生的主要原因是电力系统中电器设备载流导体的绝缘损坏。造成绝缘损坏的原因主要有设备绝缘自然老化,操作过电压,大气过电压,绝缘受到机械损伤等。

运行人员不遵守操作规程发生的误操作,如带负荷拉、合隔离开关,检修后忘拆除地线闭合等;或鸟兽跨越在裸露导体上,这些也是引起短路的原因。

发生短路时,由于短路回路的阻抗很小,产生的短路电流较正常电流大数十倍,可能高达数万安培甚至数十万安培。同时,系统电压降低,离短路点越近电压降低越大。三相短路时,短路点的电压可能降到零。因此,短路将造成严重危害。

短路产生很大的热量,导体温度升高,将绝缘损坏;短路产生巨大的电动力,使电气设备受到机械损坏;短路使系统电压严重降低,电器设备正常工作受到破坏,例如异步电动机的转矩与外施电压的平方成正比,当电压降低时,其转矩降低使转速减慢,造成电动机过热烧坏;短路造成停电,给国民经济带来损失,给人民生活带来不便;严重的短路将影响电力系统运行的稳定性,使并列的同步发电机失步,造成系统解列,甚至崩溃;单相短路产生的不平衡磁场,对附近的通信线路

和弱电设备产生严重的电磁干扰,影响其正常工作。

由上可见,短路产生的后果极为严重。在供电系统的运行中应采用有效措施,设法消除可能引起短路的一切原因。

1.1.2.4 接地

A 接地的目的

接地是为保护人体和设备的安全而设置的,要求被接地物与大地保持同电位。但是即使接地非常良好,也不可能使接地电阻等于零,即总会或多或少有一个接地电阻值。当接地电阻上流过电流时由于有了电压降使接地线上的电位会高出于大地的零电位。因此,接地系统的性能就必须根据接地线在正常或异常时,会有何种性质的电流以及它以怎样的方式流而定。也就是说,会有怎样的电流经过这个接地体流到大地中去。

高压设备的外壳等必须接地。因为不管设备的绝缘电阻有多高,在带电部分对外壳之间存在着电容,如果外壳不接地,有时会存在着意想不到的高电位。仪用互感器等设备由于一次、二次绕组间的耦合电容,在二次绕组上也同样会形成高电位,因此必须将二次绕组的一端接地使其保持零电位。这些接地线当设备或系统没有异常现象时仅流过微小的电容电流,但在设备内部或设备与外部发生碰线或短接时,或者有冲击波侵入时,就会有有很大的电流流过。接地线必须能安全地把这种电流泄入大地,同时又要使此时在接地线上的电位升高低于安全值。

在中性点经过电阻或消弧绕组接地的输电系统中发生接地短路事故时,经过接地线沿着大地流向故障点的接地电流必须限定在安全值以下。

另外,当由于雷击过电压或操作过电压等引起的冲击电流经避雷器泄入大地时。避雷器的接地装置也必须具备能安全通过大电流而同时能将电位升高抑制在规定值以下的性能。

像雷电流那样具有急剧上升特性的电流,以行波方式通过接地体,在这个接地体上至少往返1~2次的时间(在多数情况下,土壤中的传播速度是在空气中的几分之一)。这与正常的接地电阻值不同。这种阻止过渡电流(如雷电流)的特性参数取名为波阻抗,波阻抗的数值从开始流过脉冲电流时起随着时间而逐渐变化,最后达到通常称为接地电阻值的稳定值。所以,像输电线铁塔的接地、避雷器、避雷针之类以通过雷电电流为目的的接地装置,或者有通过雷电流可能性的接地装置,除了要保证正常时的电阻值之外,还必须设法降低过渡过程中的波阻抗值。

因此,在日常维护时,不能忽视对接地设施的维护和检测,保证接地装置保持良好的性能。

B 基本概念

(1) 接地。电气设备的某部分与大地之间做良好的电气连接称接地。

(2) 接地体。埋入地中并直接与土壤相接触的金属导体,称接地体或接地极。如埋地的钢管、角铁等。

(3) 接地线。电气设备应接地部分与接地体(极)相连接的金属导体(线)。接地线在设备正常运行情况下是不载流的,但在故障情况下要通过接地故障电流。

(4) 接地装置。接地体与接地线总称接地装置。由若干接地体在大地中用接地线相互连接起来的一个整体,称为接地网。其中接地线又分接地干线和接地支线,如图1-2所示。接地干线一般应采用不少于两根导体,在不同地点与接地网

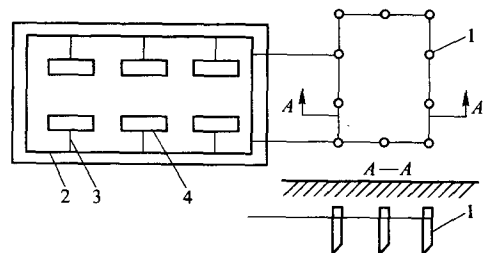


图1-2 接地网示意图

1—接地体;2—接地干线;3—接地支线;4—设备

连接。

(5) 散流电阻。接地体与土壤之间的接触电阻以及土壤的电阻之和。

(6) 接地电阻。散流电阻加接地体和接地线本身的电阻称接地电阻。由于接地体和接地线本身的电阻很小可忽略不计,所以可认为接地电阻等于散流电阻,其主要决定于接地装置的结构和土壤的导电能力,在数值上等于对地电压与接地电流之比。

(7) 接地电流。电气设备发生接地故障时,电流经接地装置流入大地并作半球形散开,这一电流称接地电流,如图 1-3 中的 I_E 。由于这半球形球面距接地体越远的地方球面越大,所以距接地体越远的地方,散流电阻越小。试验表明,在单根接地体或接地故障点 20m 远处,实际散流电阻已趋近于零。这个电位为零的地方,称为电气上的“地”或“大地”。

(8) 对地电压。电气设备接地部分与零电位的“大地”之间的电位差,称对地电压,如图 1-3 中的 U_E 。

(9) 接触电压。当电气设备绝缘损坏时,人站在地面上接触该电气设备,人体所承受的电位差称接触电压 U_{tou} 。例如,当设备发生接地故障时,以接地点为中心的地表约 20m 半径的圆形范围内,便形成了一个电位分布区。这时如果有人站在该设备旁边,手触及带电外壳,那么手与脚之间所呈现的电位差,即为接触电压,如图 1-4 所示。

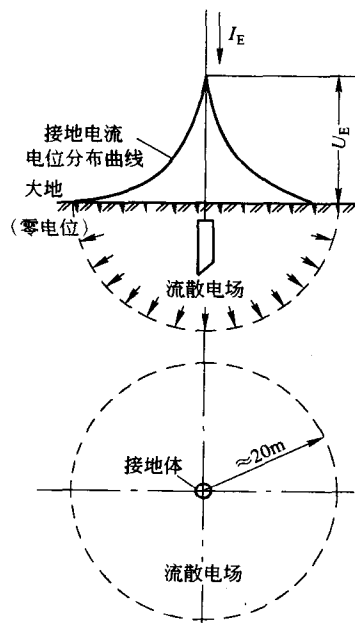


图 1-3 接地电流、对地电压及
接地电流电位分布曲线

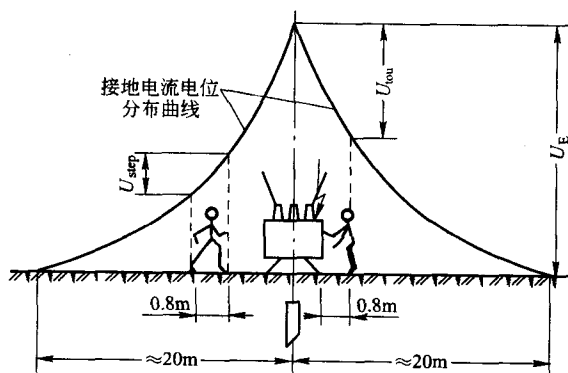


图 1-4 接触电压和跨步电压

(10) 跨步电压。在接地故障点附近行走,人的双脚之间所呈现的电位差称跨步电压 U_{step} ,如图 1-4 所示。跨步电压的大小与离接地点的远近及跨步的长短有关,离接地点越近,跨步越长,跨步电压就越大。离接地点达 20m 时,跨步电压通常为零。

C 接地的种类及作用

(1) 工作接地。为了保证电气设备在正常或故障情况下可靠地工作而进行的接地称为工作接地。例如电源(发电机或变压器)的中性点直接(或经消弧绕组)接地,能维持非故障相对地电压不变,电压互感器一次侧绕组的中性点接地能保证一次系统中相对地电压测量的准确度,防雷设备的接地是为了雷击时对地泄放雷电流。

(2) 保护接地。为保障人身安全将电气设备正常情况下不带电的金属部分接地叫保护接

地。电气设备上与带电部分相绝缘的金属外壳,通常因绝缘损坏或其他原因而导致意外带电,容易造成人身触电事故。为保障人身安全,避免或减小事故的危害性,电气工程中常采用保护接地。保护接地的作用如图 1-5 所示,图中(a)是电动机外壳未接地,发生一相碰壳时,其外壳带相电压。人接触到外壳,会有触电危险。图中(b)是电机外壳有保护接地,发生一相碰壳时,电流主要从接地处流过,就减少人被触电的危险。

低压配电系统,按保护接地形式,分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

TN 系统的电源中性点直接接地,并引出有中性线(N 线)、保护线(PE 线)或保护中性线(PEN 线),属于三相四线制系统。如果系统中的 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线,则此系统称为 TN—C 系统,如图 1-6(a)所示。如果系统中的 N 线与 PE 线全部分开则此系统称为 TN—S 系统,如图 1-6(b)所示。如果系统中前一部分 N 线与 PE 线合为 PEN 线,而后一部分 N 线与 PE 线全部或部分地分开,则此系统称为 TN—C—S 系统,如图 1-6(c)所示。

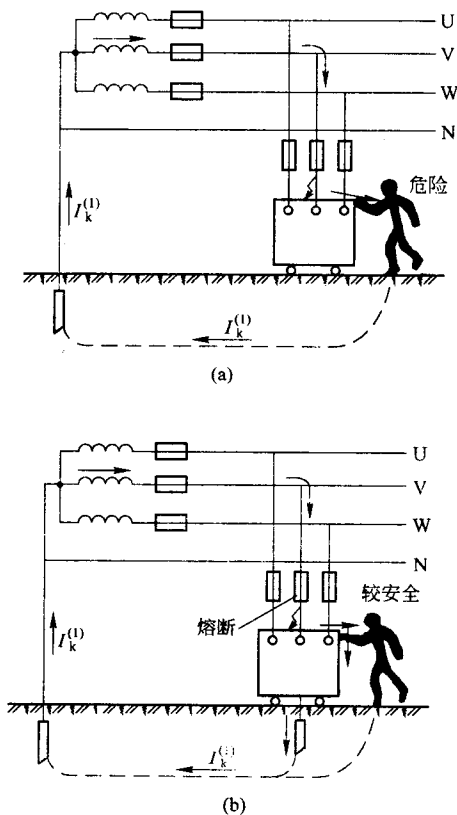


图 1-5 说明保护接地作用的示意图

- (a) 没有保护接地的电动机一相碰壳时;
(b) 装有保护接地的电动机一相碰壳时

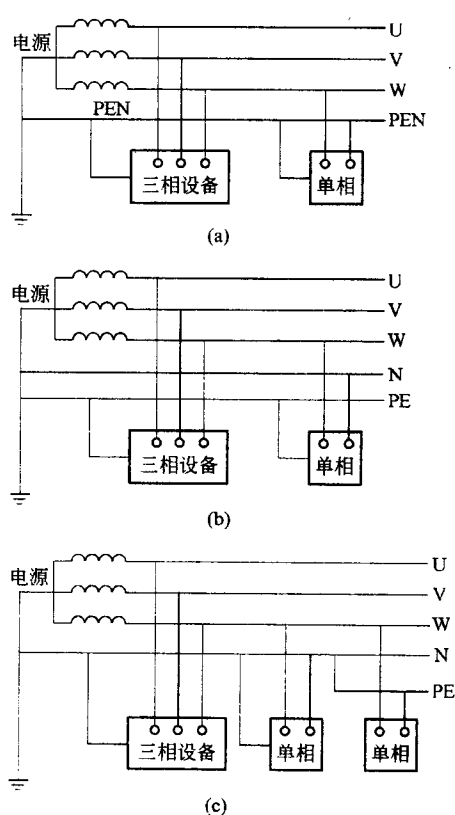


图 1-6 低压配电的 TN 系统

- (a) TN—C 系统;(b) TN—S 系统;(c) TN—C—S 系统

TN 系统中,设备外露可导电部分经低压配电系统中公共的 PE 线(在 TN—S 系统中)或 PEN 线(在 TN—C 系统中)接地,这种接地形式我国习惯称为“保护接零”。

(3) 保护接零。为了保证人身安全,将三相四线制系统中的正常情况下不带电的金属外壳与零线联接叫保护接零。保护接零作用很明显,当发生单相碰壳故障时,将形成单相短路,引起