



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等教育供电专业教学用书

电气化铁道供变电技术

(一次系统)

林永顺 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

电气化铁道供变电技术 (一次系统)

林永顺	主 编
谭慧铭	副主编
吴命利 董文海	主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2006年·北京

内 容 简 介

本书结合目前我国交流电气化铁道牵引变电所一次系统的实际情况,以国产、典型、成熟的电器设备为主,引进的国外电器设备为辅,从牵引变电所高压电气设备及其主接线、配电装置入手,全面详细地介绍了牵引供电系统采用的高压断路器、高压隔离开关、操动机构、互感器、牵引变压器、补偿电容器、电抗器、避雷器、抗雷线圈、接地放电保护装置等电器设备的结构、原理、维修调整的基本常识,主要电器设备的常见故障、原因及处理方法。介绍了牵引变电所典型主接线及其倒闸作业。介绍了高压配电装置、接地装置的结构与运行维护常识。介绍了短路电流的效应及选择电器设备的原则和基本方法。并提供较为完备的设备技术参数供使用者查阅。

本书适合作为高职高专及成人教育供用电技术专业教材,或作为供用电技术人员继续教育培训教材,也可供牵引供电系统技术工人培训参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气化铁道供变电技术:一次系统/林永顺主编.
北京:中国铁道出版社,2006.9
教育部职业教育与成人教育司推荐教材.五年制高等
职业教育电类专业教学用书
ISBN 7-113-07428-6

I. 电… II. 林… III. 电气化铁道-牵引变电所-
一次系统-高等学校:技术学校-教材
IV. U224.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 101546 号

书 名:电气化铁道供变电技术(一次系统)
作 者:林永顺 主编
出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑:阚济存
封面设计:冯龙彬
印 刷:北京鑫正大印刷有限公司
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:13.75 字数:336 千
版 本:2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数:1~3 000 册
书 号:ISBN 7-113-07428-6/TM·70
定 价:18.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话(010)51873133

发行部电话(010)51873124

前 言

本书依据铁道部教材编辑部和供电专业教学指导委员会组织的“铁道供电、企业供电专业高职高专专业课和专业基础课教材编写会”会议精神编写,列入“教育部职业教育与成人教育司推荐教材”。

随着电气化铁道事业不断发展,牵引变电所作为电气化铁道供电系统的重要组成部分,大量采用先进技术与新型设备,逐步实现监控自动化、远动化,运行管理智能化,性能检测及故障诊断现代化。对广大牵引变电所运行维护人员在知识上、技能上提出更高要求。

编者以自己多年来从事高职高专教学与职工培训经验为基础,结合电气化铁道一次供电系统的实际情况,以牵引变电所新技术新设备技术资料为依据,充分汲取了高职高专在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果,并参阅有关技术文献和生产厂家的技术资料,编写了本书。

本书全面系统地介绍了牵引变电所运行维护人员应掌握的基本知识、技能,紧扣岗位标准,以设备讲解为中心,以技术应用为重点,力求做到内容新颖、概念准确、技术先进、联系实际,具有较强的实用性。

本书为系列教材,由《电气化铁道供变电技术(一次系统)》、《电气化铁道供变电技术(二次系统)》两部分构成。《电气化铁道供变电技术(一次系统)》主要介绍牵引变电所一次系统的主要电器设备及其主接线,短路电流的效应及电器设备的选择。《电气化铁道供变电技术(二次系统)》主要介绍一次电器设备的控制信号电路及其操作电源,牵引变电所的综合自动化。两部分相互呼应,又独立成书,有利于日常教学和职工培训的灵活安排。

本书由郑州铁路职业技术学院林永顺主编,广州铁路职业技术学院谭慧铭担任副主编。具体分工是林永顺编写绪论、第一、二、七章;谭慧铭编写第三章、第五章;郑州铁路局郑州供电段林红编写第四章、第六章、附表、型号说明。

本书由教育部推荐专家北京交通大学吴命利和北京铁路电气化学校董文海主审。郑州铁路职业技术学院李学武,北京铁路电气化学校杨洁等也参加了审稿工作,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中疏漏和错误之处在所难免,诚恳欢迎读者提出宝贵意见。

编 者

2005年6月

常用文字符号及说明

一、电流类文字符号

文字符号	中文名称	文字符号	中文名称
I_N/I_n	一次/二次额定电流	I_0	零序电流
I_L	负荷、电感电流	I_{Nk}	额定开断电流
I_W	工作电流	I_{Lmax}	最大长期负荷电流
I_{Lm}	负荷电流幅值	I_e	变压器激磁电流
I_k/i_k	短路电流有效值/瞬时值	I_c	电容电流
I_{pm}/i_p	周期分量电流幅值/瞬时值	I_L/I_ϕ	线/相电流
i_{npo}/i_{np}	非周期分量电流初始值/瞬时值	$I_{L1}/I_{L2}/I_{L3}$	电力系统 A/B/C 相电流
i_b/I_b	短路冲击电流瞬时值/有效值	I_{L1w}/I_{L1c}	电力系统 A 相工作电流/电容电流
I_{kt}	任意时刻短路全电流有效值	I_{Nt}/i_{Nes}	额定热/动稳定电流
i_{ko^+}/I_{ko^-}	短路后短路电流/短路前负荷电流瞬时值	I_d	基准电流
I_1/I_2	正/负序电流;一/二次电流	I_{pu}	电流标幺值
		I_E	接地电流

二、电压类文字符号

文字符号	中文名称	文字符号	中文名称
U_N/U_n	一次/二次额定电压	E_2	副绕组感生电势
$U_N \cdot av$	平均额定电压	U_d	基准电压
U_W	工作电压	U_{pu}	电压标幺值
U_k	短路电压有效值	U_c	电容电压
	短路残余电压	U_L/U_ϕ	线/相电压
U_1/U_2	正/负序电压、原/副边电压	$U_{L1}/U_{L2}/U_{L3}$	A 相/B 相/C 相电压
U_0	零序电压	E/E_m	相电势有效值/幅值
U_E	接地电压		

三、其他类文字符号

文字符号	中文名称	文字符号	中文名称
S_N/S_n	一/二次额定容量	X_c	容抗、计算电抗
S_d	基准容量	X_e	激磁电抗
$S/P/Q$	视在/有功/无功功率	$X_0/X_1/X_2$	零序/正序/负序电抗
S_k''	次暂态短路功率	X_{pu}	电抗标幺值
$S_{kt}^{(3)}$	任意时刻三相短路功率	X_{cpu}	计算电抗标幺值
S_{Nk}	额定断流容量	Z_d	基准阻抗
X/X_L	电抗/感抗	Z	阻抗

文字符号	中文名称
Z_k/Z_L	短路/负载阻抗
Z_2/Z_{2n}	二次阻抗/额定阻抗
R	电阻
α	铁芯损耗角
ψ_2	副边总功率因数角
R_E	接地电阻
F_1/F_2	互感器原/副边磁势
F_c	激磁磁势
θ_0/θ_{0N}	实际/计算环境温度
θ_L	负荷电流稳定温度
θ_{La}/θ_{ka}	正常/短路发热允许温度

文字符号	中文名称
θ_k	短路时导体温度
Φ_c/Φ_2	激磁磁通/二次负载功率因数角
Q_{kt}	任意时刻短路全电流发热量
Q_p/Q_{np}	周期/非周期分量电流发热量
t_0/t_{f0}	分闸时间/固有分闸时间
t_b/t_c	燃弧时间/合闸时间
t_a	继电保护动作时间
L_1, L_2, L_3	电力系统三相
σ_c/σ_N	计算/允许应力
F_N	允许抗弯破坏负荷
ϵ_c	复合误差

四、一次设备类文字符号

文字符号	中文名称
WL	架空输电线
WB	旁路母线
W	线圈、绕组、母线
T	变压器
TA	自耦变压器、电流互感器
TV	电压互感器
TR	整流变压器
K_T	变压器变比
K_i	电流互感器变比
K_v	电压互感器变比
$Y_N \cdot d_{11}$	$Y_0 / \Delta-11$ 接线
$Y_N \cdot d_{11} \cdot d_i$	十字交叉接线
Y_{N1}/V	平衡变压器接线
$\perp / L$	斯科特接线
M	电动机

文字符号	中文名称
MA	交流电动机
GS	发电机
QFR	旁路断路器
QFB	分段断路器
QF	断路器
QS	隔离开关
QSR	旁路隔离开关
QSM	母线隔离开关
QL	负荷开关
FA	避雷器
FU	熔断器
C	电容器
LC	限流电抗器
LF	滤波电抗器

目 录

绪 论

第一章 牵引变电所高压开关

第一节 电弧的形成与熄灭的物理过程	2
第二节 高压断路器	7
第三节 高压隔离开关、熔断器	33
复习思考题	41

第二章 高压开关的操动机构

第一节 操动机构概述	43
第二节 电磁型操动机构	44
第三节 液压操动机构	47
第四节 弹簧(储能型)操动机构	51
第五节 永磁机构、隔离开关电动操动机构	59
第六节 操动机构常见故障及处理	64
复习思考题	65

第三章 互 感 器

第一节 互感器概述	66
第二节 电流互感器	67
第三节 电压互感器	76
复习思考题	83

第四章 牵引变电所中其他高压电气设备简介

第一节 牵引供电用变压器	84
第二节 高压电容器及电抗器	98
第三节 避雷器、接地保护器及抗雷线圈	101
复习思考题	106

第五章 电气主接线及高压配电装置

第一节 电气主接线概述	107
-------------	-----

第二节 牵引变电所一次侧的电气主接线	109
第三节 牵引负荷侧电气主接线	116
第四节 牵引变电所电气主接线举例	120
第五节 高压配电装置	125
复习思考题	134

第六章 接地装置

第一节 接地的基本概念	135
第二节 接地电阻允许值及接地装置的敷设	139
复习思考题	146

第七章 短路电流的效应及电器设备选择

第一节 短路电流的效应	147
第二节 电气设备选择	156
复习思考题	177
附表	179
一次电器设备规格型号说明	203
参考文献	210

绪 论

1879年5月,在柏林世博会上,德国西门子和哈尔斯公司展出了世界上第一条电气化铁路。100多年来,随着电机电器制造工业、电子工业和电力工业的发展,电气化铁路运输以其巨大的经济效益受到世界各国的普遍重视,得到飞速发展。

我国铁路电气化事业起始于1956年。1961年8月宝成铁路(宝鸡至成都)宝鸡至凤州段电气化通车;1975年6月宝成铁路全线电气化通车,成为我国第一条电气化铁路。宝成铁路电气化后,该铁路的运能、运量大幅度的增长,推动了我国铁路电气化事业的发展。目前我国的牵引动力政策是:“大力发展电力机车牵引技术,积极提高电力牵引承担的换算周转量的比重。在高速铁路、快速铁路、运煤专线、繁忙干线及长大坡道、长隧道、高海拔地区等线路上,应采用电力机车牵引。其他线路及调车作业,应采用内燃机车牵引。电气化铁路供电能力必须与运输能力相适应,供电设施预留发展条件。发展牵引供电系统综合整治技术,提高电气化铁道的供、用电质量。逐步实现牵引供电系统监控自动化、远动化及运行管理智能化,性能检测及故障诊断现代化。大力提高电气化铁道的运行可靠性,提高接触网的结构稳定性和抗灾能力。采用高强度、耐腐蚀、少维修或免维护的接触网零部件,优化牵引供电系统与机车设备的绝缘配合,改善弓网关系,积极研究采用自动过分相装置和弓网安全检测装置,开发接触网施工,检修新型装备。”牵引动力政策的改革,促进了我国铁路电气化事业的飞速发展。

到2006年7月1日既有京沪线电气化改造完成为止,我国电气化铁路已突破2.1万km,居亚洲第一,世界第二位。按我国“中长期铁路网发展规划”到2020年我国铁路营业总里程将达到10万km,其中电气化铁路将达到5万km。届时,我国将由电气化铁路大国迈入电气化铁路强国,我国的电气化铁路将达到世界先进水平。

交流电气化铁路一次供电系统,主要由牵引变电所(SS)、分区所(SP)、开闭所(SSP)、自耦变压器所(ATP)、馈电线、接触网、轨道、回流线等部分组成。采用工频单相交流25kV(或 2×25 kV)电压、电流制式,向电力机车或电动车组供电。

本课程将结合我国电气化铁路牵引供电一次系统的实际情况,重点介绍工频单相交流牵引变电所、分区所、开闭所、自耦变压器所等中采用的高压开关电器,互感器,变压器,电抗器,避雷器,电容器等电器设备的类型、结构、工作原理,检测方法及常见故障处理。重点介绍牵引供电一次系统采用的电气主接线形式及倒闸作业;介绍高压配电装置,接地装置的基本常识;介绍短路电流的效应及电器设备选择等一次系统初步设计的基本方法。为电气化铁路牵引供电系统的运行管理、设备检修、调整奠定基础。

第一章

牵引变电所高压开关

高压开关是牵引供电一次系统重要的电器设备,对主变压器、高压输电线路等设备起控制、保护作用。由于其结构较复杂,学习时应结合实物或多媒体课件,加强实践性教学环节。高压开关是本书理论性、实践性较强的内容之一。通过本章的学习,重点掌握交流电弧的基本理论,掌握高压断路器、高压隔离开关的结构、工作原理。了解高压开关的常见故障以及维修调整基本常识,为检修高压开关培养基本的检修能力,为高压开关的事故分析奠定理论基础。

第一节 电弧的形成与熄灭的物理过程

一、电弧现象

当用开关电器断开有载电路瞬时,只要电路中有不小于 $80\sim 100\text{ mA}$ 的电流,开关触头间电压大于 $10\sim 20\text{ V}$ 时,断口间将产生强烈的白光,即产生电弧。从现象上看,电弧是一束明亮的光柱。从本质上讲,电弧是一种游离态气体的自持放电现象,是自由电子、带电离子定向移动的通道。

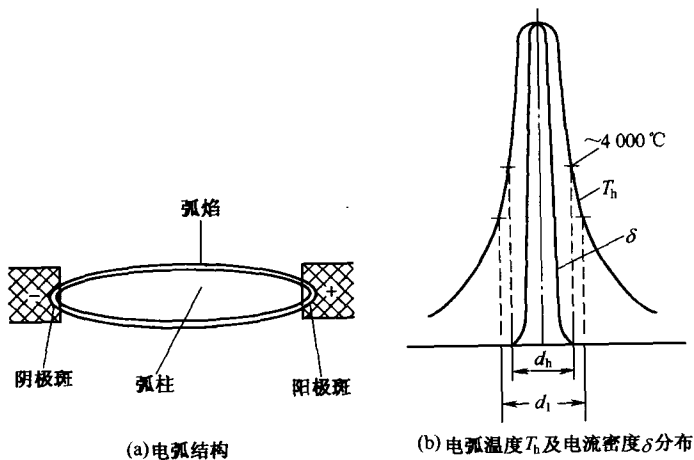
电弧的特点如下:

- (1) 起弧电压、电流数值很低。
- (2) 电弧能量集中,温度很高。
- (3) 电弧是一束质量很轻的游离态气体,在外力作用下,很易弯曲、变形。
- (4) 电弧有良好的导电性能,具有很高的电导。弧柱电流密度可达 10 kA/cm^2 。

电弧存在时,尽管开关触头断开,电路中仍有电流流通。只有当电弧熄灭后,电路中才无电流通过而真正断开。

(5) 电弧有阴极区(包括阴极斑点)、弧柱区(包括弧柱、弧焰)、阳极区(包括阳极斑点)三部分组成,如图 1-1 所示。电极上电弧的孳生点(温度最高、最明亮的斑点)称为阴极斑点或阳极斑点。

由于电弧温度很高,在电弧持续燃烧的过程中将烧毁开关



(a) 电弧结构

(b) 电弧温度 T_h 及电流密度 δ 分布

图 1-1 电弧结构及温度示意图分布

设备的触头和附近的绝缘;使油开关内部压力(变压器油在电弧高温下产生高压油气)不断增加,可导致油开关爆炸;在一定条件下,间歇电弧将引起电路产生过电压。使设备绝缘击穿,造成短路,形成的短路电流危及人身、设备的安全。因此要研究电弧,以便找出熄弧的有效方法,提高开关设备的灭弧能力,提高供电可靠性。

二、电弧形成的原理

当开关设备的触头分断有载电路时,由强电场发射、热发射等因素产生的自由电子在外电场的作用下高速移向阳极,碰撞触头间隙中的中性质点,使其产生链式增殖反应式的积累游离、碰撞游离(使中性质点分裂为电子和正离子的过程叫游离),使触头间隙中的带电质点迅速增加,中性质点迅速减少。在外电场的作用下,带电质点的定向移动,使触头间隙由绝缘状态变为导电状态,触头间隙被击穿通过电流而产生电弧(存在电弧的触头间隙称为弧隙)。电弧一经产生,积累游离、碰撞游离的程度迅速加强,致使质点间互相碰撞,使带电质点迅速增多,形成热游离。由于热游离的出现,使间隙中的中性质点几乎全部分裂为带电质点而定向移动。此时电弧全靠热游离来维持。因此电弧具有很高的电导,能通过强大的短路电流。

电弧现象表明:电弧电流越大,电弧电阻越小,弧压降越小。

电弧相当于一个非线性电阻,因此电弧中电压与电流同方向。

三、电弧熄灭的原理

在电弧中不仅存在着中性质点的游离过程,同时也存在着带正、负电荷的质点互相碰撞交换多余的能量形成中性质点的去游离过程。

若采取措施,使电弧中的去游离过程大于游离过程,使电弧中的中性质点增加,带电质点减少,达到一定程度时,触头间隙由良好的导电状态变为绝缘状态则电弧熄灭。同理,若使电弧中的去游离过程等于游离过程,电弧中带电质点不增不减,则电弧稳定燃烧;当去游离过程小于游离过程时,电弧中带电质点增多,则产生或加强电弧。

去游离过程一般由下述两个过程组成:

(1) 复合过程:电弧中带不同电荷的质点在运动中互相接触交换多余的能量成为中性质点的过程叫复合。

(2) 扩散过程:电弧中有足够动能的带电质点,克服电场力的束缚,逸入周围介质中去变为中性质点的过程叫扩散。

因此,影响去游离过程的因素如下:

(1) 与触头间电场的强弱有关。它决定带电质点发射的强度和带电质点运动的速度。电场弱,带电质点运动速度慢,复合过程强。

(2) 与开断的电流大小有关。电流小,弧柱细,温度低,易复合。

(3) 与触头间隙的介质种类有关。分子量大的化学性能稳定的介质易复合。

(4) 与气体介质的压力有关。根据巴申曲线压力大至十几个大气压以上或接近真空有利于复合。

(5) 与触头材料有关。触头材料的热容量大,导热系数大,不易产生热电子发射,使游离过程减弱,易复合。

(6) 与弧柱内外的温度差、离子浓度差有关。温差大,浓度差大,易扩散。

四、交流电弧的特性

在交流电路中,电流的大小随时间按正弦规律变化。交流电弧的温度、直径及弧压降也随时间变化,交流电弧的这种特性称为动特性。如图 1-2、图 1-3 所示。电流按正弦规律变化时,电弧温度和直径的波形呈脉动形状。就理想情况来讲,当交流电流过零时,电源提供的能量为零,触头间电场为零(电压与电流同相位时)、电弧温度最低,带电质点停止运动,去游离过程最强烈,交流电弧自然熄灭。

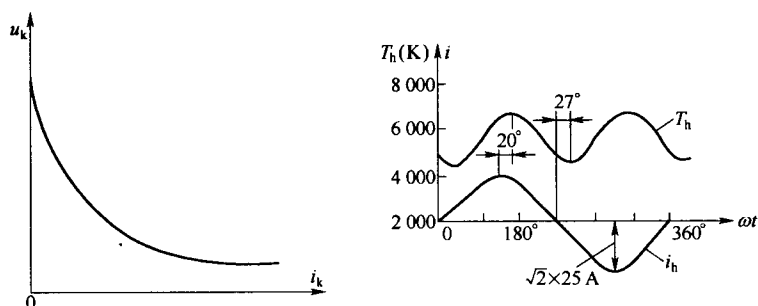


图 1-2 交流电弧温度变化曲线
 i_h —电弧电流曲线; T_h —电弧温度曲线

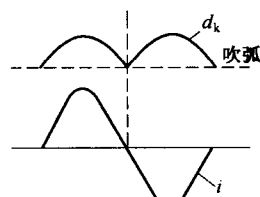


图 1-3 交流电弧直径变化曲线

由图 1-2 可知,电弧温度的变化总滞后于电流的变化,其原因是弧柱的受热升温 and 散热降温都有一个过程,跟不上快速变化的电流,这种现象称为电弧的热惯性。由于电弧具有热惯性,使电流过零时,电弧的温度不是最低,弧隙间仍有一定数量的带电质点,弧隙绝缘仍保持较低的数值,当反向电压加到弧隙上尚未达到最大值时,弧隙将立即击穿,电弧重燃。

综上所述,对于交流电弧不存在电弧能否熄灭的问题,而是电流过零后如何有效的阻止电弧重燃的问题。

五、与交流电弧是否重燃有关的两个物理过程

1. 弧隙介质绝缘强度(或称介电强度)的恢复过程

电流最大值时,电弧温度最高,电弧中热游离最强烈,带电质点最多,弧隙导电性能良好,弧隙介电强度几乎为零。电流过零时,电源停止提供能量,弧隙温度剧降,热游离减弱,电源电压若同时过零,则弧隙中带电质点无电场力作用,其运动速度较慢,此时的去游离过程最强烈,弧隙中中性质点数量剧增,弧隙电阻增大,弧隙由电流最大值时的良好导电状态逐渐变为中性的不导电状态,恢复为绝缘介质,电弧熄灭。此时弧隙介电强度立即恢复到某一数值(初始值。此数值的大小与介质种类、弧隙长度等因素有关)。电流过零后,由于电弧热惯性存在,弧隙温度继续下降,弧隙介电强度继续提高,这一过程称为弧隙介电强度的恢复过程。其恢复速度与弧隙中的去游离过程强弱有关。例如,加强对弧隙的冷却,可提高弧隙介电强度的恢复速度。

2. 弧隙电压的恢复过程

触头间电流过零时,加在弧隙上的电压称为恢复电压。恢复电压达到最大值的变化过程称为弧隙电压的恢复过程。恢复电压初始值的大小和弧隙电压的恢复速度与电路参数、恢复电压的频率等因素有关。

比较电流过零后弧隙介电强度值和恢复电压值的大小,可以判断交流电弧在电流过零后能否熄灭。只要电流过零后,弧隙介电强度值始终大于弧隙恢复电压值,弧隙不被击穿,交流

电弧熄灭。否则,电弧将重燃。

图 1-4 表示弧隙恢复电压与弧隙介电强度恢复的情况。如弧隙介电强度曲线 2 在任何时候都高于弧隙恢复电压曲线 1,则在这种情况下电弧熄灭;反之,如介电强度曲线为 3,恢复电压曲线仍为 1,则两者在 b 点相交, b 点电压为发弧电压,这时电弧将重燃。

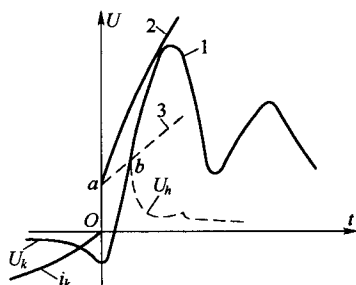


图 1-4 恢复电压与介电强度的关系

1—恢复电压曲线;2、3—介电强度曲线

六、灭弧方法

根据电弧熄灭的基本原理和交流电弧过零后不致重燃的条件,熄灭电弧一般应从:①加强电弧中的去游离过程,减弱游离过程;②提高电弧电流过零时弧隙介电强度初始值及其恢复速度;③降低弧隙电压恢复速度等方面采取措施。现代开关电器中广泛采用的灭弧方法主要有以下几种。

1. 在高压断路器中采用多断口,以降低触头间电压

高压断路器常制成每相两个或多个串联的断口(一对触头为一个断口),如图 1-5(d)所示,由于加在每个断口上的电压降低,使电弧易于熄灭。

2. 采用强力分闸弹簧,提高触头的分离速度

如 ZN₆-27.5 型真空断路器,装有 2 条分闸弹簧,用于分闸时迅速拉长电弧,以提高弧隙介电强度的恢复速度和电流过零时介电强度初始值。

3. 利用气体吹动电弧

电弧是一束质量很轻的游离态气体,在外力作用下,很容易弯曲、变形。分闸时用高压气吹动电弧,使电弧受到强烈的冷却和拉长,加强了去游离过程,电弧易于熄灭。

高压断路器中采用的吹弧方式一般有:横吹、纵吹、纵横吹等,如图 1-5 所示。高压断路器中采用的吹弧介质一般有:压缩空气;SF₆ 气体;电弧高温分解变压器油产生的高温、高压油气等。

4. 利用磁吹法熄弧

按左手定则,当电弧电流垂直于外磁场时,电弧将受到磁场力的作用而发生弯曲、变形,使冷却作用加强,电弧易熄灭。这个磁场可以由互为反向的电弧电流

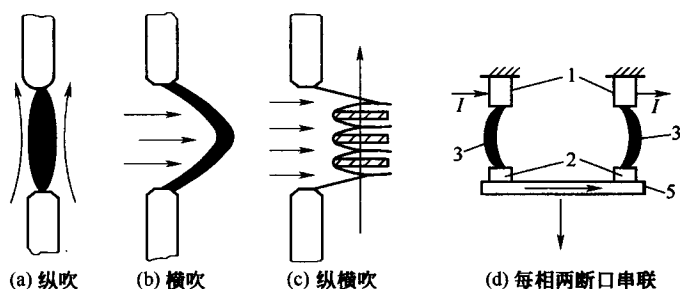


图 1-5 气吹电弧的方式

产生(热气流使电弧弯曲、变形,电弧外表面电流互为反向建立磁场),如图 1-6 所示。也可以使电流通过安装于触头外侧或触头两侧的线圈产生,如图 1-7 所示。图中线圈安装的方法是使其产生的磁场垂直于通过的电弧电流,且其磁吹力 F 向上。

5. 采用介质绝缘强度大、热容量大的气体作为灭弧介质

如采用 SF₆ 气体作为灭弧介质。在气压为 9.8×10^4 Pa 时,其绝缘强度为空气的 2~3 倍,在 $3 \times 9.8 \times 10^4$ Pa 时,与变压器油的绝缘强度相近。SF₆ 气体分子量大,其分子捕捉电子成为负离子(即 SF₆ 分子具有负电性)后其导电作用十分迟缓,从而加速了弧隙绝缘强度的恢复,电弧易于熄灭。

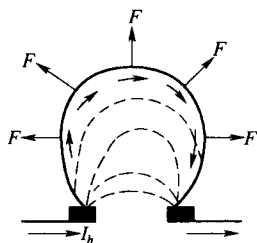


图 1-6 电弧在本身电流产生的电动力影响下的伸展

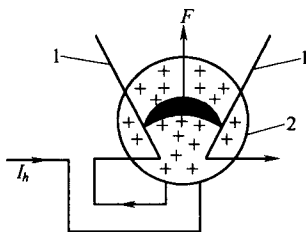


图 1-7 电弧在外加线圈磁场力影响下的移动

6. 加大气体介质压力或采用真空熄弧

将断路器的触头置于高真空中或适当加大弧隙间气体介质的压力均有利于灭弧。

7. 在高压断路器断口上装设并联电阻或并联电容,用于降低恢复电压上升速度及降低熄弧时产生的过电压。

(1) 断路器的断口上加装并联电阻

如图 1-8 所示,断路器每相有两对触头,QF2 为主触头,其上并联有电阻 R,QF1 为辅助触头(亦称弧触头)。

当断路器在合闸位置时,QF1、QF2 均闭合。当断开有载电路时,QF2 先断开,QF1 后断开。在 QF2 断开过程中,R 起分流作用,要求 R 值越小越好。QF2 断开后,R 又与 QF1、L 串联,R 起分压作用,同时改变电路参数,增大电路中电阻的成分,要求 R 值越大越好。一般来讲,为限制弧隙恢复电压幅值和减小恢复电压的恢复速度,采用几十至几百欧的低值电阻;在切断小电感电流或电容电流时,为消除危险的过电压,采用几百欧至几千欧的中值电阻;为使断路器各断口间电压分布均匀,采用几万欧至几十万欧的高值电阻。

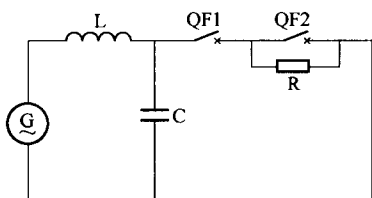


图 1-8 带有并联电阻的断路器
断开短路故障时的电路

(2) 断路器断口上加装并联电容

高压断路器采用多断口结构后,在开断单相接地故障时,每一个断口在开断位置的电压分配和开断过程中的恢复电压分配出现了不均匀现象,致使某个断口触头烧损严重,继而影响整个断路器的开断能力。

图 1-9 为单相断路器在开断接地故障后的电路图。图中 U 为电源电压, U_1 、 U_2 分别为两断口上的电压。电弧熄灭后,每个断口可看成是一个电容 C_d ,中间的导电部分与断路器底座和大地间也可看成是一个对地电容 C_0 。于是两断口间的电压分布可按图 1-9(b)进行计算。

$$U_1 = \frac{C_d + C_0}{2C_d + C_0} U; U_2 = \frac{C_d}{2C_d + C_0} U$$

在少油断路器中, C_d 和 C_0 的数值通常都是几十微法。假定 $C_d = C_0$,则有:

$$U_1 = U \frac{C_d + C_0}{2C_d + C_0} = \frac{2}{3} U; U_2 = U \frac{C_d}{2C_d + C_0} = \frac{1}{3} U$$

可见,两断口电压分布不均匀。靠近故障一侧的断口承受 $\frac{1}{3} U$,电源侧断口承受 $\frac{2}{3} U$,从而使电源侧断口首先烧损。

若在两断口处并联电容 C ,并使 C 值远远大于 C_d 和 C_0 值(一般 C 值为 $1\,000 \sim 2\,000 \mu F$),则两断口电压分布按图 1-10 进行计算。则有:

$$U_1 = \frac{(C + C_d) + C_0}{2(C + C_d) + C_0} U; U_2 = \frac{(C + C_d)}{2(C + C_d) + C_0} U$$

由于 $C \gg C_d$ 和 C_0 , 若忽略 C_0 , 则有:

$$U_1 = \frac{1}{2}U; U_2 = \frac{1}{2}U$$

可见, 当并联电容值足够大时, 两断口分布的电压接近相等, 从而提高了断路器的灭弧性能。

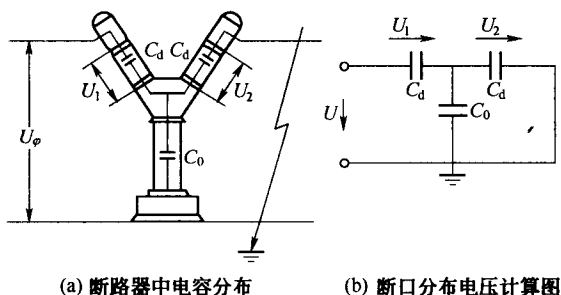


图 1-9 两断口断路器断口上电容、电压分布电路

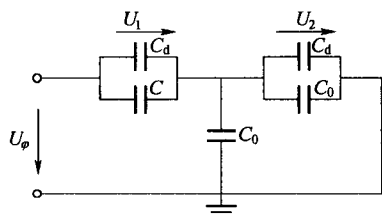


图 1-10 有均压电容的等值电路

8. 把长电弧分裂成短电弧

这种方法常用于低压开关中, 如图 1-11 所示。在低压开关的触头上常罩有由金属栅片组成的灭弧罩。当触头间发生的电弧进入与电弧垂直放置的金属栅片内时, 可将一个长电弧分成一串短电弧。当电流过零时, 所有短电弧同时熄灭, 每一栅片间的介电强度立即恢复到某一数值。若每段弧隙介电强度值的总和大于触头上外加电压时, 电弧熄灭。

为使电弧迅速进入栅片内, 可利用磁力吹动, 如图 1-11(b) 所示。灭弧栅片采用有缺口的钢片。当电弧电流在 A 处流动时, 电弧电流将在灭弧栅片上建立磁场, 此磁场力可将电弧拉入灭弧栅口深处 B, 从而加强了电弧的冷却作用, 提高了开关的灭弧能力。

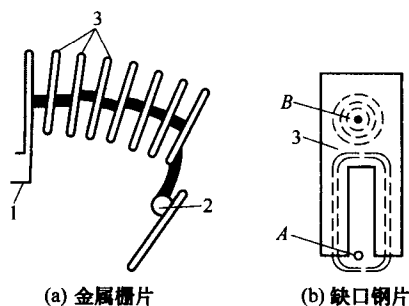


图 1-11 长电弧分成短电弧

1—静触头; 2—动触头; 3—栅片

9. 利用固体介质的狭缝熄弧

如在高压熔断器中, 电弧与固体介质(石英砂)紧密接触, 使电弧变形, 迅速冷却; 同时固体介质在电弧高温下产生气体, 使狭缝中气体受热而压力增大, 使去游离过程加强, 电弧迅速熄灭。

10. 采用优良的触头材料

如真空断路器的触头一般采用铜基二元或三元合金, 提高真空触头的热稳定性, 减少金属蒸气的产生, 有利于真空电弧的熄灭。

在具体的开关中, 通常是将几种灭弧方法配合使用, 以提高开关电器的灭弧能力。

第二节 高压断路器

一、高压断路器概述

(一) 高压断路器的类型及用途

在高压电路中, 断路器可用来通断负荷电流、与继电保护装置配合迅速切断短路电流。它是一种具有开关和保护双重作用、有很强的熄弧能力、性能较完善的高压开关。

根据断路器采用灭弧介质的不同,断路器有如下几种类型。

1. 油断路器

采用变压器油作为灭弧介质和绝缘介质的断路器叫油断路器。变压器油只作为灭弧介质和触头开断后弧隙绝缘介质,而带电部分与地之间的绝缘采用瓷介质的断路器,由于油量较少,称为少油断路器。它可用于各级电压的变电所,是目前应用最广泛的油断路器。

2. 六氟化硫(SF₆)气体断路器

采用规定压力的、具有优良灭弧性能和绝缘性能的 SF₆ 气体作为灭弧介质和弧隙绝缘介质的断路器叫六氟化硫断路器。它主要用于 110 kV 及以上大容量变电所及频繁操作的场所(如牵引变电所)。

3. 真空断路器

真空断路器是指触头在 $133.3 \times 10^{-4} \sim 133.3 \times 10^{-8}$ Pa 的真空中开闭电路的断路器。目前,它主要用于 35 kV 及以下用户中要求频繁操作的场所。

4. 压缩空气断路器

以 $9.8 \times 10^5 \sim 4 \times 9.8 \times 10^5$ Pa 的空气作为灭弧介质、弧隙绝缘介质并作为传动介质的断路器叫压缩空气断路器。其带电部分对地绝缘仍靠瓷介质。它主要用于 110 kV 及以上大容量发电站、变电所及操作频繁的場所。

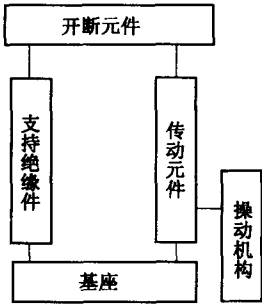


图 1-12 高压断路器的基本结构

5. 磁吹断路器

靠磁力吹弧,将电弧吹入灭弧栅片的狭缝内,使电弧冷却熄灭的断路器叫磁吹断路器。它主要用于 20 kV 及以下户内频繁操作的场所。

6. 固体自产气断路器

利用固体绝缘材料在电弧高温作用下分解产生的气体来吹灭电弧的断路器叫固体自产气断路器。它主要用于 35 kV 及以下户内小容量变电所。

(二) 高压断路器的基本结构

高压断路器的基本结构如图 1-12 所示。其中开断元件是核心,开关设备的控制、保护及安全隔离等方面的任务都需它来完成。其他组成部分都是配合开断元件为完成上述任务而设置的。

高压开关基本组成部分的主要零部件及其功能如表 1-1 所示。

表 1-1 高压开关基本组成部分及其功能

名称	主要零部件	功 能
开断元件	主灭弧室,主触头系统,主导电回路辅助灭弧室,辅助触头系统,并联电阻等	开、断及关、合电力线路,安全隔离电源
支持绝缘件	瓷柱、瓷套管、绝缘管等构成的支柱本体、拉紧绝缘子等	保证开断元件有可靠的对地绝缘,承受开断元件的操作力及各种外力
传动元件	各种连杆、齿轮、拐臂、液压管道、压缩空气管道等	将操作命令及操作功传递给开断元件的触头和其他部件
基座	开关本体的底架、底座	整台产品的基础
操动机构	弹簧、液压、电磁、气动及手动机构的本体及其配件	为开断元件分合闸操作提供能量,并实现各种规定的操作

(三) 高压断路器的基本技术性能和参数

高压断路器的特性和工作性能,可用它的基本参数来表征。断路器的基本参数有:

1. 额定电压 U_N

断路器正常、长期工作的电压称为额定电压,一般指线电压。 U_N 的大小主要决定于断路器的绝缘。考虑到断路器在电网中安装地点不同,以及电力系统调压的要求,对高压断路器又规定了与各级额定电压相应的最高工作电压。如 220 kV 以下电气设备最高工作电压是额定电压的 1.15 倍;220 kV 及以上电气设备为额定电压的 1.1 倍。

2. 额定电流 I_N

在标准环境温度下,电气设备长期通过的、发热不超过允许值的最大负荷电流称为额定电流。

3. 额定开断电流 I_{Nk} (额定断流量)

在额定电压下,断路器能够可靠开断的最大电流为开断电流。它表明断路器的开断能力。在低于额定电压下,开断电流可以提高,但由于灭弧装置机械强度的限制,开断电流仍有一极限值,此极限值称为极限开断电流。

4. 额定断流容量 S_{Nk}

由于开断能力和额定电压、开断电流有关,因此,通常采用一个综合参数,即以额定断流容量来表示断路器的开断能力。对于三相电路有: $S_{Nk} = \sqrt{3} U_N I_{Nk}$ 。

5. 热稳定电流 I_{Nt}

断路器在规定时间内(国标为 4 s)所允许通过的最大电流称为热稳定电流。它表明断路器承受短路电流热效应的能力。数值上 $I_{Nk} = I_{Nt}$ 。

6. 极限通过电流 i_{Nes}

断路器在闭合状态时允许通过的短路电流最大瞬时值称为极限通过电流或动稳定电流。它表明断路器承受短路电流电动力效应的能力。

7. 分闸时间 t_0

在额定操作电压或压力下,从断路器分闸线圈带电开始至三相电弧完全熄灭为止,这段时间称为分闸时间。

分闸时间包括固有分闸时间 t_{f0} 和燃弧时间 t_b 。固有分闸时间是指分闸线圈通电开始至触头刚刚分离这段时间,是操动机构动作时间。从触头刚分离开始至三相电弧完全熄灭为止这段时间称为燃弧时间。它表明断路器灭弧能力的大小。

8. 合闸时间 t_c

在额定操作电压或压力下,从断路器合闸线圈通电开始至主触头刚接触为止,这段时间称为合闸时间。一般不宜超出 0.2~0.3 s。

9. 自动重合闸无电流间隔时间

断路器第一次分闸、三相电弧完全熄灭起至重合闸成功线路重新出现电流为止,这段时间称为自动重合闸无电流间隔时间。这段时间为停电时间。对系统来讲,该时间越短越好。但由于制造上的原因,该时间不可能无限制减小,同时,该时间过小不利于弧隙介电强度的恢复,影响断路器再分闸时的断流能力。一般为 0.5 s 左右。

10. 自动重合闸时间

分闸时间加上重合闸无电流间隔时间即为自动重合闸时间。