

高压断路器



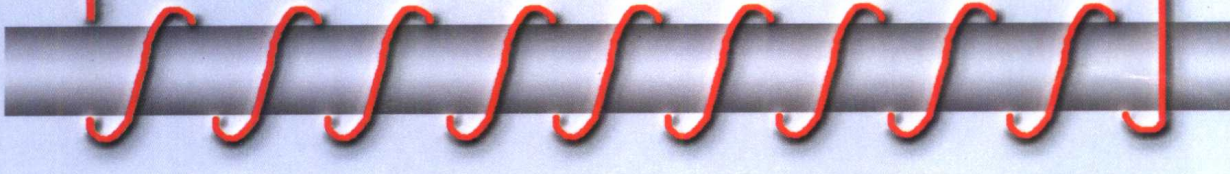
原理和应用

徐国政 张节容 编著
钱家骊 黄瑜珑



清华大学出版社

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高压断路器原理和应用

徐国政 张节容 编著
钱家骊 黄瑜琬

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书叙述高压断路器及其操动机构的基本理论、工作原理和应用技术。

基本理论部分包括:电动力、发热、电接触、电弧、电磁铁、操动机构和连杆机构以及各种电路的关合与开断过程。

工作原理及应用部分包括:油断路器、六氟化硫断路器、真空断路器、金属封闭开关等设备的工作原理、性能、结构分析、试验技术和运行中的一些问题以及在线监测技术等。

本书可作为高等工科院校电器专业、高电压技术与设备专业和电气工程专业的教材,电力及有关专业的参考教材,函授大学电器专业的自学教材。本书也可供从事高压电器设计、研究、试验和运行维修的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压断路器原理和应用/徐国政等编著. —北京:清华大学出版社, 2000
ISBN 7-302-04077-X

I. 高… II. 徐… III. 高压电器:断路器-基本知识 IV. TM561

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 75341 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京振华印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:29 字数:684 千字

版 次:2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04077-X/TM·32

印 数:0001~5000

定 价:34.00 元

前 言

高压断路器是电力系统中最重要、最复杂的电器设备。断路器的基本理论和工作原理牵涉面较广,内容庞杂,既有电磁学理论,也有热学和力学理论。在电磁学和热学方面既有场又有路,既有稳态过程也有暂态过程;在力学方面则涉及到静力学、动力学、流体力学和空气动力学方面的内容。此外还涉及到电工材料、绝缘、放电、试验等多项技术,并随着时代的发展内容不断扩充和更新,如计算机技术的应用等。有关内容不只用于高压断路器,还可用于包括高压电器、低压电器等各种电气设备。

积本书几位作者几十年教学、科研、技术工作的经验,深感应用一些基本概念和基本公式进行计算分析,对解决各种技术问题包括比较复杂的问题的重要性。因此,本书力求比较基本、比较系统和深入浅出地介绍高压断路器及其操动机构的有关理论和原理,介绍或推导出便于分析或估算的计算公式,以便帮助读者能够比较全面地考虑有关高压断路器及其操动机构的技术问题,比较好地理解各种现象和过程,以便作出判断或估算,也为阅读有关文献进行深入学习、研究打下基础。

本书基本理论部分包括:电动力、发热、电接触、电弧、电磁铁、连杆机构以及各种电路的关合与开断过程。

工作原理及应用部分包括:油断路器、六氟化硫断路器、真空断路器、金属封闭开关设备和操动机构的工作原理、性能、结构分析、试验技术和运行中的一些问题以及在线监测技术等。

本书是在水力电力出版社 1978 年出版的《高压断路器(上)》,电力工业出版社 1980 年出版的《高压断路器(下)》和清华大学出版社 1989 年出版的《高压电器原理和应用》两书的基础上,根据作者所在单位近年校内外的教学实践以及电力、冶金、煤矿、化工等使用部门和电器制造部门读者的意见,对内容作了修改并补充了一些新内容而写成的。

本书由徐国政教授任主编。第 1 章到第 8 章由徐国政教授编写,第 9 章到第 14 章由张节容教授编写,第 15 章和第 16 章由钱家骊教授编写,第 17 章由黄瑜珑副教授编写。

本书可作为高等院校电器专业、高电压技术与设备专业和电气工程专业的教材,电力及有关专业参考教材,函授大学有关专业的自学教材。本书也可供从事高压电器设计、研究、试验、运行维修的工程技术人员学习参考。

由于编著者各方面水平有限,错误及不当之处在所难免,希望读者指正。

作 者
2000 年

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 高压断路器的用途和基本结构	(1)
1.2 对高压断路器的主要要求	(2)
1.3 高压断路器的特点	(9)
1.4 高压断路器的发展	(10)
1.5 我国高压断路器的生产简况	(11)
思考题和习题	(12)
参考文献	(12)
第 2 章 电动力	(13)
2.1 概述	(13)
2.2 计算电动力的两种基本方法	(18)
2.3 同一平面内两直导体间的电动力	(21)
2.4 导体截面形状对电动力的影响	(24)
2.5 交流电动力	(29)
2.6 短路时的电动力	(34)
2.7 电动力计算举例	(35)
思考题和习题	(39)
参考文献	(41)
第 3 章 发热	(42)
3.1 允许温度	(42)
3.2 热的产生	(45)
3.3 短时升温	(50)
3.4 传热的基本方式及其计算	(54)
3.5 长期发热计算举例	(63)
3.6 发热体升温过程	(70)
思考题和习题	(72)
参考文献	(74)
第 4 章 电接触	(76)
4.1 电接触的分类和要求	(76)
4.2 接触电阻	(77)

4.3	影响接触电阻的因素	(82)
4.4	接触电阻计算公式	(85)
4.5	电接触的长期工作	(86)
4.6	电接触通过短路电流	(89)
4.7	触头的关合过程	(91)
4.8	触头的电磨损	(95)
	思考题和习题	(98)
	参考文献	(98)
第5章	电弧	(99)
5.1	电弧现象	(99)
5.2	电弧的物理过程	(100)
5.3	电弧特性	(106)
5.4	直流电弧的燃烧和熄灭	(110)
5.5	交流电弧的熄灭	(116)
5.6	开关电弧的动态数学模型	(123)
	思考题和习题	(126)
	参考文献	(127)
第6章	高压断路器短路电流的开合	(128)
6.1	短路故障的关合	(128)
6.2	恢复电压的基本概念	(128)
6.3	单相电路开断时的恢复电压	(130)
6.4	三相电路开断时的恢复电压	(132)
6.5	三相电路开断时的瞬态恢复电压	(139)
6.6	瞬态恢复电压的表示方法和影响因素	(141)
6.7	近区故障	(148)
6.8	失步故障	(152)
6.9	发展性故障	(156)
6.10	并联开断	(156)
	思考题和习题	(158)
	参考文献	(158)
第7章	高压断路器的短路开断与关合试验	(159)
7.1	概述	(159)
7.2	短路开断与关合试验的有关规定	(159)
7.3	试验参数的量测与试验结果的处理	(162)
7.4	短路开断与关合试验装置	(165)

7.5 断路器开断试验方法	(174)
思考题和习题	(175)
参考文献	(176)
第8章 高压断路器负荷电流的开合	(177)
8.1 电容性负荷的基本情况	(177)
8.2 关合空载输电线路	(178)
8.3 关合电容器组	(181)
8.4 开断单相电容器组	(185)
8.5 开断三相电容器组	(188)
8.6 开断空载输电线路	(192)
8.7 开断空载变压器和电抗器	(196)
8.8 开断高压感应电动机	(201)
思考题和习题	(207)
参考文献	(207)
第9章 油断路器	(208)
9.1 概述	(208)
9.2 多油断路器和少油断路器	(210)
9.3 油断路器的灭弧室	(212)
9.4 灭弧室压力过程分析	(214)
9.5 影响灭弧性能的因素	(219)
9.6 多断口少油断路器的均压问题	(225)
思考题和习题	(227)
参考文献	(228)
第10章 真空断路器	(229)
10.1 概述	(229)
10.2 真空间隙的击穿	(231)
10.3 真空电弧	(235)
10.4 交流真空电弧的熄灭	(240)
10.5 真空开关的触头	(243)
10.6 真空灭弧室的基本结构	(247)
10.7 真空开关操作过电压的抑制	(250)
思考题和习题	(252)
参考文献	(253)
第11章 六氟化硫断路器	(254)

11.1	六氟化硫气体的理化性能·····	(254)
11.2	六氟化硫气体的绝缘性能·····	(268)
11.3	六氟化硫气体中的电弧·····	(285)
11.4	流动气体的特性·····	(290)
11.5	六氟化硫断路器·····	(294)
	思考题和习题·····	(302)
	参考文献·····	(303)
第 12 章	金属封闭开关设备 ·····	(304)
12.1	大气绝缘的 3.6 kV ~ 40.5 kV 金属封闭开关设备 ·····	(304)
12.2	3.6 kV ~ 40.5 kV 气体绝缘金属封闭开关设备 ·····	(310)
12.3	72.5 kV 及以上电压等级的六氟化硫气体绝缘金属封闭开关设备·····	(314)
12.4	GIS 现场绝缘试验·····	(320)
	思考题和习题·····	(323)
	参考文献·····	(323)
第 13 章	电磁铁 ·····	(324)
13.1	磁通、磁阻和磁路 ·····	(324)
13.2	磁阻、磁导的计算 ·····	(326)
13.3	直流磁路的计算·····	(331)
13.4	电磁铁的能量、机械功和吸力 ·····	(336)
13.5	电磁铁的动特性·····	(343)
13.6	电磁铁的动作时间·····	(347)
13.7	剩磁的影响·····	(349)
13.8	电磁线圈的计算·····	(350)
13.9	交流电磁铁·····	(354)
13.10	极化电磁铁 ·····	(357)
	思考题和习题·····	(365)
	参考文献·····	(365)
第 14 章	操动机构 ·····	(366)
14.1	概述·····	(366)
14.2	对操动机构的要求·····	(367)
14.3	操动机构分类·····	(371)
14.4	操动机构的特点·····	(381)
	思考题和习题·····	(381)
	参考文献·····	(381)

第 15 章 连杆机构的静特性	(382)
15.1 连杆机构.....	(382)
15.2 连杆机构的机械利益和死点.....	(392)
15.3 连杆机构中的摩擦、机械效率和死区	(399)
15.4 连杆式脱扣机构.....	(409)
思考题和习题.....	(414)
参考文献.....	(415)
 第 16 章 连杆机构的动特性与缓冲器	 (416)
16.1 概述.....	(416)
16.2 断路器触头运动速度的计算.....	(417)
16.3 替代质量和等效质量.....	(419)
16.4 断路器分断速度计算举例.....	(423)
16.5 断路器结构参数对刚分速度的影响.....	(430)
16.6 缓冲器.....	(430)
思考题和习题.....	(438)
参考文献.....	(438)
 第 17 章 高压断路器状态监测和故障诊断	 (439)
17.1 状态监测和故障诊断的目标和内容.....	(439)
17.2 监测原理.....	(441)
思考题和习题.....	(452)
参考文献.....	(453)

第 1 章 绪 论

1.1 高压断路器的用途和基本结构

3 kV 及以上电力系统中使用的断路器称为高压断路器,它是电力系统最重要的控制和保护设备。无论电力线路处在什么状态,例如空载、负载或短路故障,当要求断路器动作时,它都应能可靠地动作,或是关合,或是开断电路。概括地讲,高压断路器在电网中起着两方面的作用:第一,控制作用。根据电网运行需要,用高压断路器把一部分电力设备或线路投入或退出运行。这种作用称为控制。第二,保护作用。高压断路器还可以在电力线路或设备发生故障时将故障部分从电网快速切除,保证电网中的无故障部分正常运行。这种作用称为保护。总之,高压断路器能够开断、关合及承载运行线路的正常电流,也能在规定时间内承载、关合及开断规定的异常电流,如过载电流和短路电流。

根据控制、保护的對象不同,高压断路器大致可以分为以下几种类型:

(1) 发电机断路器——控制、保护发电机用的断路器。断路器的额定电压在 40.5 kV 以下,额定电流大,不需要快速自动重合闸。

(2) 输电断路器——用于 110(63) kV 及以上输电系统中的断路器。其中 110 kV、220 kV 电压等级使用的断路器称为高压断路器,330 kV 及以上电压等级使用的断路器称为超高压断路器。输电断路器除要求具备快速自动重合闸功能外,还常要具备开合近区故障、失步故障,架空线路和电缆线路充电电流的能力。由于电压高,断路器的结构也比较复杂。

(3) 配电断路器——用于 35(63) kV 及以下的配电系统中的断路器。这类断路器除要求具备快速自动重合闸的功能,有时还要求具备开合电容器组(单个电容器组或多个并联电容器组)和电缆线路充电电流的能力。由于电压低,断路器的结构应该简单。

(4) 控制断路器——用于控制、保护经常需要启停的电力设备(如高压电动机、电弧炉等)的断路器。断路器的额定电压在 12 kV 以下。要求断路器能够频繁操作并具有高的机械和电寿命。

按断路器灭弧原理来划分,有油断路器(多油和少油)、压缩空气断路器、六氟化硫断路器、真空断路器、磁吹断路器和(固体)产气断路器。目前用得较多的是少油断路器、真空断路器和六氟化硫断路器。

断路器的典型结构见图 1.1。

图中开断元件是断路器用来进行关合、承载和开断正常工作电流和故障电流的执行元件,它包括触头、导电部分和灭弧室等。触头的分合动作是靠操动机构来带动的,常用的操动机构有电磁操动机构、弹簧操动机构、压缩空气气动操动机构和液压操动机构等。

开断元件放在绝缘支柱上[图 1.1(a)],使处于高电位的触头、导电部分及灭弧室与地电位绝缘,绝缘支柱则安装在接地的基座上。这类结构称为外壳带电断路器,也有人称之为绝缘支柱式断路器。

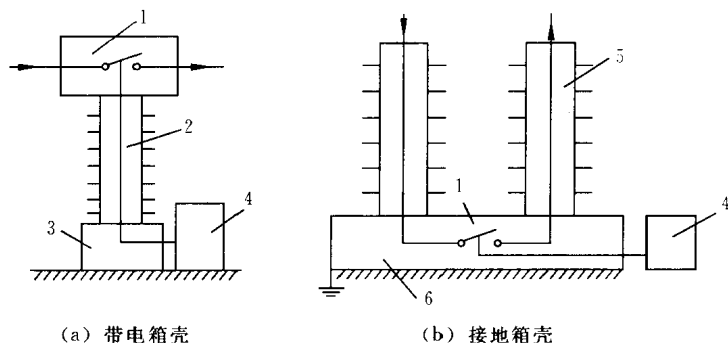


图 1.1 高压断路器典型结构简图

1——开断元件;2——绝缘支柱;3——底座;4——操动机构;5——绝缘套管;6——接地外壳

另一类结构的断路器称为外壳接地断路器(又称落地罐式)如图 1.1(b)所示。开断元件放在接地的箱壳中,其间的绝缘依靠气体(压缩空气或六氟化硫)或液体(变压器油)来承担,导电部分经套管引入,结构比较稳定,常在额定电压高的高压和超高压断路器中使用,抗地震性能好。

1.2 对高压断路器的主要要求

电力系统的运行状态和负载性质是多种多样的,作为控制、保护元件的高压断路器,要保证电力系统的安全运行,对它的要求也是多方面的。另外,断路器所处场所的自然环境变化也会对断路器的工作性能产生影响。因此在断路器设计时,应该全面考虑这些要求。归纳起来,对高压断路器的要求,大致可以分为下述几个方面。

1. 一般电气性能方面

高压断路器长期在电网中使用时,就应与其它电力设备一样,能够耐受各种电压、电流的作用而不致损坏。

(1) 电压方面

高压断路器在规定的正常使用和性能条件下,能够连续运行的最高电压称为断路器的额定电压。根据我国交流高压断路器国家标准 GB1984 的规定,高压断路器的额定电压分为 3.6, 7.2, 12, 40.5, 72.5, 126, 252, 363, 550 kV。

断路器工作时还应耐受高于额定电压的各种过电压作用,而不会导致绝缘的损坏。标志这方面性能的参数有 1min 工频耐受电压、雷电冲击耐受电压和操作冲击耐受电压。具体数值与断路器的额定电压有关,可参考交流断路器国家标准 GB1984。

(2) 电流方面

断路器长期通过工作电流时,各部分的温度不得超过允许值,以保证断路器的工作可靠。关于断路器各种情况下的允许温度在有关标准中都有规定。断路器在关合位置通过短路电流时,不应因电动力受到损坏,各部分温度也不应超过短时工作的允许值,触头不应发

生熔焊和损坏。

标志这方面性能的参数是:额定电流,额定峰值耐受电流,额定短时耐受电流和额定短路持续时间。

额定电流(I_n ,A)是指在规定的正常使用和性能条件下,断路器主回路能够连续承载的电流有效值。

额定短时耐受电流(I_{sw} ,kA)又称额定热稳定电流,是指在规定的使用和性能条件下,在确定的短时间内,断路器在合闸位置所能承载的电流有效值。

额定短路持续时间(t_{sw} ,s)又称额定热稳定时间,是指断路器在合闸位置所能承载其额定短时耐受电流的时间间隔。这一时间通常为1s~4s。

额定峰值耐受电流(I_{pw} ,kA)又称额定动稳定电流,是指在规定的使用和性能条件下,断路器在合闸位置所能耐受的额定短时耐受电流第一个大半波的峰值电流。

对断路器来说,额定峰值耐受电流 I_{pw} 、额定短时耐受电流 I_{sw} 和下面将讨论的额定短路开断电流 I_b 、额定短路关合电流 I_{pm} 都是同一短路电流在不同操作情况下,或不同时刻出现的电流有效值或峰值,它们之间的关系可用图 1.2 表示。还可写成下面的式子:

$$I_{pw} = I_{pm} \quad (1.1)$$

$$I_b = I_{sw} \quad (1.2)$$

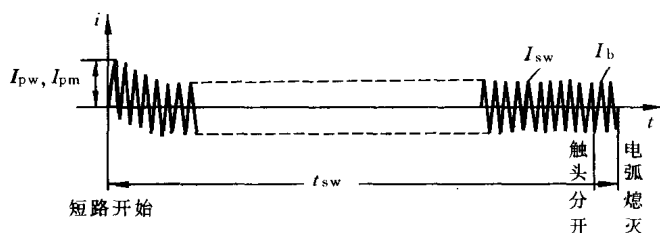


图 1.2 各电流额定值的关系

对于一般断路器,还有

$$I_{pw} = 1.8 \times \sqrt{2} I_b = 2.55 I_b \quad (1.3)$$

例如某断路器的额定短路开断电流 $I_b = 31.5$ kA,则其它电流的额定值可确定如下:

$$I_{sw} = I_b = 31.5 \text{ kA}$$

$$I_{pw} = I_{pm} = 2.55 I_b = 80 \text{ kA}$$

2. 开断、关合电路方面

(1) 开断短路故障

断路器开断有电流的电路时,触头分离后,触头间会出现电弧,只有使电弧熄灭,电路的开断任务才能完成。在电力系统发生短路故障时,短路电流比正常负荷电流大得多,这时电路最难开断。因此,可靠地开断短路故障是高压断路器主要的也是最困难的任务。

额定短路开断电流(I_b ,kA)是标志高压断路器开断短路故障能力的参数。它是指断路器在规定条件下能保证正常开断的最大短路电流。通常以触头分离瞬间短路电流交流分量有效值和直流分量的百分数表示。如果直流分量不超过20%,额定短路开断电流仅由交流

分量有效值来表征。

在电力线路不同地点出现短路故障时,短路电流的大小也有很大的差别。图 1.3 表示在 220kV 母线上引出一条线路,在线路始端装有断路器 B。例如在 1,2,3,4 处出现短路故障时,断路器都应可靠地开断电路。显然在断路器 B 的出线端子处 1 发生短路时,短路电流 I_{b1} 最大。但是,近年来的实践和理论表明,当短路点 2 (离断路器几公里处)出现短路故障时,其短路电流虽然比 I_{b1} 小,但断路器开断可能更加困难,这种故障称为近区故障。断路器在规定的近区故障条件下能够开断的电流,称为断路器的近区故障开断电流。

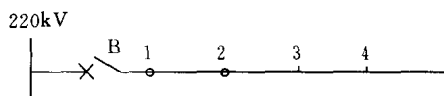


图 1.3 短路故障

除此以外,在有些情况下,还要求断路器在电力系统出现失步故障时也能够可靠地开断电路。标志这方面性能的是失步开断电流。

三相系统中还要考虑三相之间的各种形式的短路,如三相、两相短路,三相、两相、单相接地和异地两相接地短路等。对于这些短路故障,断路器也应可靠地开断。

(2) 快速开断

电力系统发生短路故障后,要求继电保护系统尽快动作,断路器开断得越快越好。这样

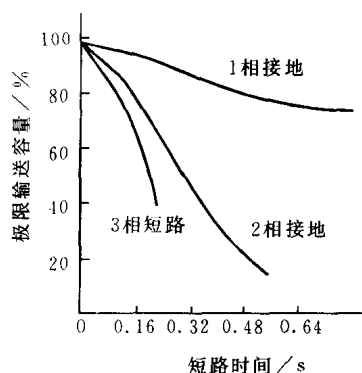


图 1.4 短路故障时间对输电线路输送能力的影响

可以缩短电力系统故障存在的时间,减轻短路电流对电力设备造成的危害。更重要的是,在超高压电力系统中,缩短断路器开断短路故障的时间可以增加电力系统的稳定性,从而保证输电线路的输送容量,如图 1.4 所示。因此开断时间是高压断路器的一个重要参数。

开断时间 t_b 是标志断路器开断过程快慢的参数。开断时间是指断路器接到分闸指令瞬间起到所有各相中电弧最终熄灭的时间间隔。开断时间为分闸时间和燃弧时间之和: $t_b = t_0 + t_a$ 。

分闸时间 t_0 为断路器接到分闸指令瞬间起到所有相中弧触头分离瞬间的时间间隔。

燃弧时间 t_a 是指某相中首先起弧瞬间起到各相中电弧最终熄灭的时间间隔。

断路器开断短路故障时的各个时间见图 1.5。对于高压断路器,分闸时间和燃弧时间都必须尽量缩短。

(3) 关合短路故障

电力系统中的电力设备或输电线路在未投入运行前就已存在绝缘故障,甚至处于短路状态,这种故障称为“预伏故障”。当断路器关合有预伏故障的电路时,在关合过程中,常在动静触头尚未接触前,在电源电压作用下,触头间隙击穿(通常称为预击穿),随即出现短路电流。在关合过程中出现短路电流,会对断路器的关合造成很大的阻力,这是由于短路电流产

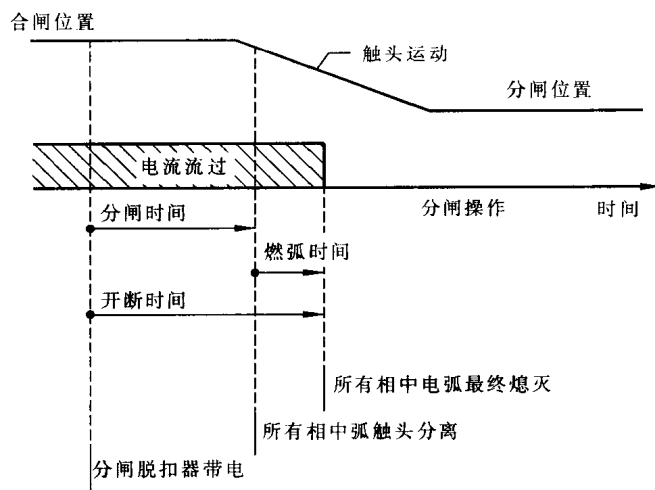


图 1.5 断路器的开断时间

生的电动力造成的。有的情况下,甚至出现动触头合不到底的情况。此时在触头间形成持续电弧,造成断路器的严重损坏甚至爆炸。为了避免出现上述情况,断路器应具有足够的关合短路故障的能力。标志这一能力的参数是断路器的额定短路关合电流 I_{pm} (图 1.2)。

额定短路关合电流 (I_{pm} , kA) 是指断路器在额定电压以及规定的使用和性能条件下,能保证正常关合的最大短路峰值电流。

与开断时间一样,断路器的关合时间也是一个重要参数。

关合时间 (t_{pm} , s) 是指断路器接到合闸指令瞬间起到任意一相中首先通过电流瞬间的时间间隔。它是合闸时间与预击穿时间之差: $t_{pm} = t_c - t_{pa}$, 如图 1.6 所示。

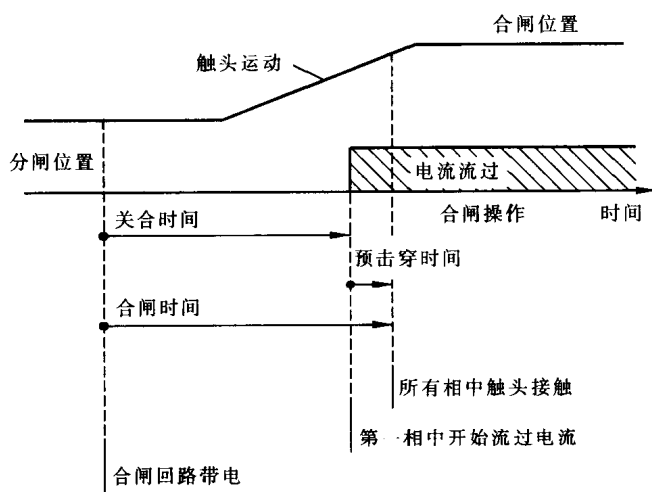


图 1.6 断路器的关合时间

合闸时间 (t_c , s) 是指断路器接到合闸指令瞬间起到所有相触头都接触瞬间的时间间隔。

预击穿时间(t_{pa} , s)是指关合时,从任意一相中首先出现电流到所有相中触头都接触瞬间的时间间隔。

(4) 快速自动重合(闸)操作

架空输电线路的短路故障,大多数是雷害、鸟害等临时性故障。因此,为了提高供电的可靠性并增加电力系统的稳定性,线路保护多采用快速自动重合操作的方式。即输电线路发生短路故障时,根据继电保护发出的信号,断路器开断短路故障;然后,经很短时间又再自动关合。断路器重合后,如故障并未消除,断路器必须再次开断短路故障。此后,在有的情况下,由运行人员在断路器第二次开断短路故障后经过一定时间(例如 180s)再令断路器关合电路,称做“强送电”。强送电后,故障如仍未消除,断路器还需第三次开断短路故障。上述操作顺序称为快速自动重合闸断路器的额定操作顺序,可写为

$$O-t-CO-t'-CO$$

其中: O——分闸操作;

CO——断路器合闸后无任何有意延时就立即进行分闸操作;

t ——无电流时间,是指自动重合操作中,断路器开断时从所有相中电弧均已熄灭起到随后重新关合时任意一相中开始通过电流时的时间间隔。对于快速自动重合闸的断路器,取 $t=0.3\text{ s}$;

t' ——强送时间,一般取 $t'=3\text{ min}$ 。

断路器在自动重合闸操作中的有关时间见图 1.7。

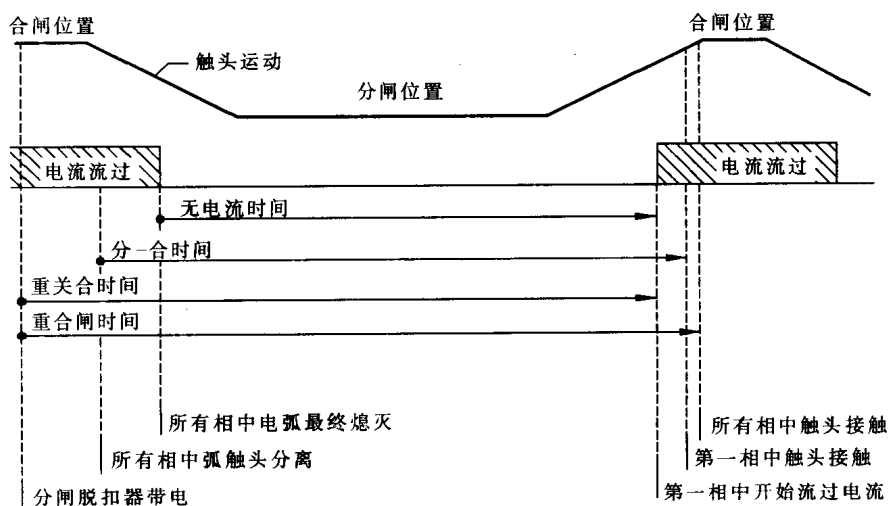


图 1.7 断路器的自动重合闸(O— t —CO)

与自动重合闸操作顺序中有关的时间还有分-合时间、重关合时间、重合闸时间、合-分时间(金属短接时间)和关合-开断时间。在超高压电力系统中,为了提高系统的稳定性,图 1.7 中的有关几个时间都应设法缩短。因此,超高压断路器的动作速度都很高。

采用快速自动重合闸的断路器,在上述很短的时间内应能可靠地多次连续关合、开断短路故障。对于断路器来讲,这种连续多次开合短路电流比只是开断一次短路电流,负担要沉

重得多。

对用于保护发电机、电动机、变压器及用于电缆线路的断路器,不需采用快速自动重合闸的操作顺序。这类断路器只需满足下列额定操作顺序,即

$$O-t-CO-t-CO$$

其中: $t=3\text{ min}$ 。

(5) 开合各种空载、负载电路

断路器在电力线路中工作时,除开合一般负荷外,有时需要关合、开断空载架空线路和电缆线路,空载变压器、并联电抗器、电容器组、高压电动机等电路。开合这些电路的主要问题是可能产生过电压。这时,对断路器的要求是在开合过程中,不应产生危及绝缘的过电压,即过电压必须限制在规定的范围内。标志这方面开合能力的主要参数是额定电压和各种开合电流,如额定线路充电开断电流、额定电缆充电开断电流、额定电容器组开断电流、额定电容器组关合涌流和额定小感性开断电流等。

3. 自然环境方面

断路器在周围环境各种条件作用下,都应能可靠工作,这些条件大致叙述如下:

(1) 周围空气温度

高压断路器标准规定,户内断路器使用处的周围空气温度为 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,户外断路器为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。温度过低,会使断路器内部的变压器油、润滑油、液压油的粘度增加,影响断路器的分合闸速度。温度过低还可能使密封材料的性能劣化,造成断路器漏气、漏油。反之,温度过高可能造成导电部分过热等。国家标准“交流高压电器在长期工作时的发热”中规定,当电器设备使用在周围空气温度高于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (但不高于 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) 时,允许降低负荷长期工作。推荐周围空气温度每增高 1 K ,额定电流减小 1.8% ;反之,周围空气温度低于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,每降低 1 K ,额定电流增加 0.5% 。但其最大过负荷不得超过额定电流的 20% 。另外,户外电器设备在阳光照射下很容易过热。因此,当电器设备使用环境条件为风速小于 0.5 m/s ,日照强度大于 0.1 W/cm^2 ,周围空气温度为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其长期工作的电流应降低到额定电流的 80% 。

温度过高,空气的绝缘强度也会降低。标准规定,当电器设备使用在周围空气温度高于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下,其外绝缘在干燥状态下的试验电压应在额定耐受电压值的基础上乘以温度校正因数 K_t ,

$$K_t = 1 + 0.0033(T - 40) \quad (1.4)$$

式中: T 为周围空气温度值, $^{\circ}\text{C}$ 。

上式计算表明,从 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始,每超过 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验电压提高 1% 。

(2) 海拔

海拔会对断路器的外绝缘产生影响。海拔高的地区,大气压力低,空气稀薄,空气的绝缘强度也低。因此,有关标准中规定,对用于海拔高于 $1\text{ }000\text{ m}$ 但不超过 $4\text{ }000\text{ m}$ 处的断路器,海拔每升高 100 m ,其外绝缘的绝缘强度大约降低 1% 。所以在海拔不高于 $1\text{ }000\text{ m}$ 的地点进行试验时,其试验电压应按 $1\text{ }000\text{ m}$ 处的额定耐受电压乘以海拔校正因数 k_a ($k_a > 1$)

$$k_a = \frac{1}{1.1 - H \times 10^{-4}} \quad (1.5)$$

式中: H 为设备安装地点的海拔, m 。

高海拔地区空气稀薄, 散热差, 电器各部分的温升随之升高。因此, 在高海拔地区工作的断路器在 $1\,000m$ 处进行温升试验时, 温升的允许值必须降低。标准规定, 断路器在海拔高于 $1\,000m$ 但不超过 $4\,000m$ 处且周围空气温度为 $40^{\circ}C$ 工作时, 断路器的允许温升每超过 $100m$ (以海拔 $1\,000m$ 为起点) 降低 0.3% 。

我国标准中规定, 高压断路器的正常运行条件是海拔不超过 $1\,000m$ 。对安装于海拔 $1\,000m$ 以上的断路器, 有关技术要求可与制造厂协商。

(3) 湿度

我国长江以南地区湿度很大, 全年很长时间的湿度在 90% 以上, 甚至表面出现凝露。这样大的湿度, 容易引起断路器的金属件锈蚀, 绝缘件受潮, 油漆层脱落, 甚至影响机构的可靠动作和出现绝缘件表面的闪络事故。我国断路器标准中规定, 断路器应能在日平均相对湿度不大于 95% , 月平均相对湿度不大于 90% 的环境下工作。

(4) 地震

我国处于太平洋和南亚两大地震区之间, 是一个多地震国家。在选用高压和超高压断路器时, 应选用抗地震性能好、结构比较稳定的接地箱壳(落地罐式)断路器及六氟化硫气体绝缘全封闭开关设备(GIS)。

(5) 污秽

沿海地区和重工业集中地区, 尤其是火电厂、炼油厂、水泥厂、化工厂和沿海的油田等地区, 空气中污秽严重, 经常发生断路器外绝缘的污闪事故。特别是秋末冬初和冬末春初之际, 以及天气久晴之后, 绝缘件上积秽较多, 碰到毛毛雨天气就更为严重。

户内使用的断路器的污秽问题也不容忽视。对于污秽地区, 门窗不严的断路器室, 如果清扫不及时, 又不像户外断路器有雨的自然清扫作用, 污秽积累程度并不亚于户外断路器。加上南方地区户内湿度又高, 对于环氧玻璃钢一类的有机绝缘材料来说其沿面闪络电压将显著降低。

对于污秽引起的污闪事故除加强清扫, 改善室内环境(密封、空调)外, 还可以通过增加爬电比距(外绝缘爬电距离与断路器额定电压之比)和选用合适的绝缘材料(如硅橡胶)等来解决。

(6) 风力

过大的风力有可能使结构细长的高压断路器变形甚至断裂, 断路器结构设计中应考虑这种风力载荷。断路器标准规定, 断路器应在风压不超过 $700Pa$ 处工作, 这相应于 $34m/s$ 的风速, 每平方米的受力约为 $700N$ 。

(7) 覆冰

标准中规定了三种不同等级的断路器。它们对应的允许覆冰厚度不超过 $1mm$, $10mm$ 和 $20mm$ 。

4. 其它方面

(1) 允许合分次数

断路器应有一定的允许合分次数, 以保证足够长的工作年限。根据标准, 一般断路器允