

電器技術

DIANJI JISHU

√ 高压断路器和高压电网论文选编

北京开关厂

1980

CA06/39

TM5
2
3

目 录

1	无重燃高压少油断路器的结构分析	北京开关厂 陆首群	(1)
2	550千伏电网中操作过电压的限制问题	武汉水利电力学院 陈维贤	(28)
3	断路器切合电容器组的一些问题	清华大学 张节容	(37)
4	少油断路器开断高压感应电机时, 过电压现象的研究	清华大学 钱家骊	(48)
5	真空断路器开断高压电动机时的过电压	清华大学 张节容	(72)
6	高压断路器的开断电流的可靠性和全工况可靠性问题	北京电力设计院 刘继	(86)
7	关于高压断路器可靠性的若干问题	北京开关厂 陆首群	(105)
8	关于提高液压机构效率和可靠性等问题的探讨	平顶山高压开关厂 杨树藩	(119)
9	220千伏开关切、合空载长线时过电压测量结果的分析	电力部电力科学研究院 史六如	(136)
10	高压断路器开断小电感电流试验方法的探讨	东电技改局 田景林 邹国山	(143)
11	220千伏动态过电压试验研究	电力部电力科学研究院高压所 李岱 史六如 云南省电力局中心试验所 梅忠恕	(155)
12	JDZJ型电压互感器铁磁谐振的研究	华北电力学院 杨以涵等 北京开关厂 吴植榛	(189)
13	关于开关油的试验	电力部西安热工研究所 孙桂兰	(242)
	附: 北京开关厂部分产品集锦		(259)



A 790332

无重燃高压少油断路器的结构分析

北京开关厂 总工程师 陆首群

众所周知，高压断路器闭合，开断空载长线，或对空载长线进行自动重合闸操作，往往会在电力系统中产生幅值很高，持续时间很长的过电压类型。根据1975—1976年在湖北丹江口、云南以礼河、辽宁阜新、吉林丰满、甘肃建设坪七种型号断路器切合220千伏，180—400公里空载长线现场试验中获得的数据（共整理了2000多个过电压数据和从1100多个过电压波形图上测得的波头长度数据）汇总分析表明，线路首端最大统计过电压倍数（在分闸重燃时最为严重）达3.33倍，线路过电压波头长度平均值为1711~3807微秒。这种过电压将直接威胁高压电力系统的绝缘水平，危及包括高压断路器在内的电力设备和输电线路的安全运行。而在超高压电力系统中则尤甚。

为了限制这种类型的过电压，国内外在电网结构、运行方式和操作方式、断路器和避雷器结构以及绝缘配合原则等方面作了长期、大量的研究工作。但不管绝缘配合原则如何（即用断路器抑或避雷器来作为电力系统中的第一线或第二线绝缘保护），从断路器结构上来研究限制这种类型的操作过电压，一直是占着主导地位。

限于篇幅，本文的研究仅限于断路器开断空载长线这种典型情况。

顺便指出，高压少油断路器由于具有结构简单，价格低廉的特点，在110—380千伏电力系统中使用十分广泛。以国内情况而言，在当前110—220千伏级电网中，少油断路器是使用数量最多的一种断路器。

在这里还需指出的是，在正常或事故的状态下，闭合、开断或重合空载长线是一种常规而决非特殊的操作方式。在断路器开断空载长线时，如果能完全抑制其断口中电弧的重燃（即创制无重燃断路器），不言而喻，将不会产生过电压，或者更确切地说，不会产生危及电力系统绝缘水平的过电压。大量在电网中长线上运行的高压少油断路器，每年都会频发地遇到操作空载线路的情况。从电网及电力设备运行可靠性出发，也自然会提出对其开断空载输电线（长线，有时也应考虑短线）无重燃的特性要求。

但用少油断路器来开断空载长线时，要完全抑制其重燃的可能性，较之其他类型断路器（如压缩空气断路器、六氟化硫断路器）困难得多，换言之，创制无重燃高压少油断路器难度较大。

从各国现行标准来看，也可说明这一问题。

国际电工委员会标准（IEC第56号会刊）在经过激烈争论后，放弃了把断路器开断空载长线重燃与否作为判断其性能的准则，而将统计操作过电压控制在一定水平下（在无重燃

时，三相单分操作 $2 \times 8 = 16$ 次；合——分操作 $2 \times 2 = 4$ 次）。作为断路器切空载长线试验成败的唯一判据。

可是我们在实际开断空载长线试验或运行中往往发现，在多数重燃情况下，虽然过电压水平并不高，可是断路器灭弧室或绝缘筒却常常发生放电击穿或沿面、沿层间闪络而致碳化损坏，这是一种属于永久性质的损坏，再也不能恢复。由此可见，上述 IEC 标准是属于一种妥协性的标准而决非高标准。

美国标准（IEEE——1972）还允许三相操作 50 次中有一次（不多于一次）过电压水平超过规定的数值（机率为 $1/50$ ）。同样不计及重燃与否。

苏联标准（ГОСТ—12450—73）对空气断路器在开断空载线路时规定不应有重燃（实际上规定三相操作 39 次中有多于一次重燃，机率为 $1/39$ ），而对其他型式的断路器，无重燃要求仅作为建议，在这里同样是将统计操作过电压控制在一定水平下作为试验判据。

综上所述，可见少油断路器实现其无重燃特性之难。

在具体实践中，瑞士 FS、FR 型少油断路器在开断 23—417 公里空载线路试验中，虽未发现重燃，但连 BBC—OERLIKON 公司自己就承认，试验条件是不够严格的。由于电网条件的限制，试验时最高电压为 1.1 倍，而未能达到 1.2 倍。S·&·S 公司研制的 HPF 型少油断路器，在开断 112—460 公里空载线路试验中，当试验电压升到 1.3 倍时，就有 1—2% 的重燃机率。法国 DELLE—ALSTHOM 公司生产的 OR—2R 型少油断路器切合空载长线性能根本就没有过关。OR—2R（245 千伏级）曾用单断口在 132 千伏单相线路上（其他二相不加电压，当然没有相间电压耦合效应）分别作 290 公里（29 次单分，2 次合——分）和 113 公里（28 次单分，2 次合——分）试验，未发生重燃，但是上述长、短线两档规格的试验中，分别发生两次复燃。必须指出，这种试验条件是很不严格的。以致在我国大量购进此型断路器后，1976 年在丹江口开断 211 公里空载长线（试验电压 252 千伏），在第二个重合闸循环合闸中，产生了四次预击穿，其灭弧室、绝缘筒因闪络放电而损坏。现场切合空载长线试验证明，这种型号的少油断路器在长线运行中无法使用。

1975—1976 年，在我国 220 千伏电网中，曾进行了大规模的切合空载长线试验，180—258 公里切空长线 133 次（其中重合闸操作循环 63 次），300—400 公里切空长线 210 次（其中重合闸操作循环 99 次），试验条件是比较严格的。较之国际标准来说，由于相间电容耦合效应的作用，电压最大耦合系数实测达到 1.3—1.45 倍，一般也为 1.1—1.2 倍；而且多数试验采用了重合闸循环；个别还作了单相接地（在不对称运行条件下切空载长线）。上述试验结果表明，SW6—220（北开方案）和 SW7—220（作者均参与方案的讨论及制定），在分别切合 370—300 公里空载长线试验中（252 千伏，分别用 17 个及 10 个重合闸循环），均创无重燃记录。这说明创无重燃少油断路器完全是有可能的。

我是主张以是否重燃作为切合空载长线判据的准则。今年 10 月 SPRECHER & SCHUH 公司代表团来华访问，A. W. ROTH 一行表示，S & S 公司完全同意我的上述观点。

充分总结我国 1975—1976 年大规模切合空载长线现场试验的经验，以及总结我国在其他年份现场试验和次数更多的试验模拟室切合空载长线试验经验，我们就有可能找到无重燃高压少油断路器结构设计的规律和设计方法，从而创制新一代的无重燃高压少油断路器。

本文仅就这方面作一初步尝试，欢迎大家批评指正。

一、断路器开断空载长线过程中加在断口上的暂态恢复电压。

断路器开断空载长线过程中，断口间电弧熄灭后重燃与否，取决于电网加在断口上的暂态恢复电压和断口中介质恢复强度随时间的变化两者之间的关系。

图 1 为空载长线示意图。图中 $e(t)$ 为电源电压， X_H 为系统或电源电抗， B 为断路器， $U_B(t)$ 为断口间的恢复电压， L_0 为单位长度线路的电感， C_0 为单位长度线路的电容， Z_c 为长线的波阻抗， λ 为电磁波波长， v 为电磁波速度， τ 为长线传播函数。

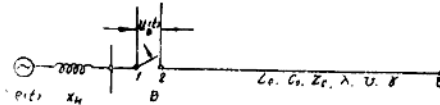


图 1 空载长线示意图

断路器在电流过零熄弧之后，电网加在断口上的恢复电压 $U_B(t)$ ：

$$U_B(t) = U_{B2}(t) - U_{B1}(t) \dots \dots \dots (1)$$

其中

$U_{B2}(t)$ 为断口线路侧 (2) 相对地恢复电压，

$U_{B1}(t)$ 为断口母线侧 (1) 相对地恢复电压。

$$U_{B1}(t) = e(t) + U_h(t) \dots \dots \dots (2)$$

$U_h(t)$ 为断路器开断熄弧后电源侧回路衰减的高频振荡电压。

$$\text{设 } e(t) = Em \cos \omega t \dots \dots \dots (3)$$

其中

Em 为电源电压峰值，

ω 为工频角频率，

t 为时间。

$$U_h(t) = \frac{Em}{\frac{Z_c}{X_H} \operatorname{ctg} \lambda - 1} e^{-\delta_1 t} \cos \omega_0 t \dots \dots \dots (4)$$

其中

δ_1 为电源侧回路的衰减常数，

ω_0 为电源侧回路的自振角频率。

电源侧回路示意图如图 2、图 3 所示，图 2 为被试验断路器按装在发电厂出口，图 3 为被试验断路器按装在中间变电所（被试验断路器之后均带空载长线）。

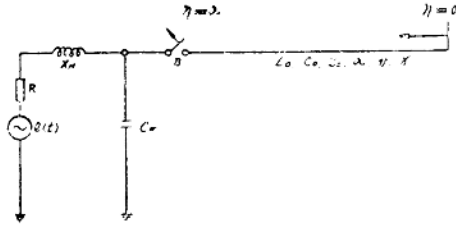


图2 电源侧回路示意图(断路器按装在发电机出口)

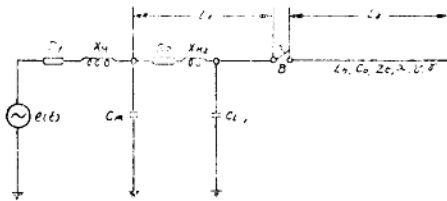


图3 电源侧回路示意图(断路器按装在中间变电所)

$$\delta_1 = \frac{R}{2LH} \dots\dots\dots(5)$$

其中

R 为电源侧回路电阻(图3中 $R=R_1+R_2$),
 LH 为电源或系统电感($X_H=\omega LH$,图3中 $X_H=X_{H1}+X_{H2}$),
 图2中 δ_1 较之图3中要大得多(衰减快)。

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LH C_m}} \dots\dots\dots(6)$$

其中

C_m 为母线电容,
 对于图3系统来说,由于线路(L_1)电容 $C_{L1} \gg C_m$,

$$\text{则 } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LH C_{L1}}} \dots\dots\dots(6')$$

母线电容 C_m ,包括变压器,母线的电容以及挂在母线上的电流互感器、电压互感器等电力设备电容量的总和。