

107427



交流高压开关設備的 結構

阿法納西叶夫著



机械工业出版社

交流高压开关设备的結構

阿法納西叶夫著

交通大学电器制造教研室譯



机械工業出版社

1956

出版者的話

本書詳細地敘述了高压开关設備的結構，介紹它的用途和結構上的特点，以及其主要特性。同时，对高压开关設備的技術数据，制造中所用的电工材料都作了詳尽的闡述。

本書系供从事研究和制造高压开关設備的工程技術人員和高等学校电器制造專業的学生之用。同时也是使用高压开关設備的工程師和技術人員的一本良好参考書。

本書由上海交通大学电器制造教研室王哲生、何金茂、張漢揚、王其平、李介谷和俄文教研室周馨逸等同志翻譯。

苏联 В. В. Афанасьев 著 'Конструкции высоковольтных
выключающих аппаратов' (Госэнергоиздат 1951 年第一
版)

*

*

*

NO. 0862

1956 年 12 月第一版 1956 年 12 月第一版第一次印刷
850×1168 $1/32$ 字数 382 千字 印張 $13^{15}/_{16}$ 0.001—4,500 册
机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版
机械工業出版社印刷厂印刷 新华书店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 2.60 元

目 次

原序	6
緒論	7
1 高压开关設備概述	7
2 高压开关設備的主要参数	13
第一章 隔离开关的型式	19
3 类别和要求	19
4 閘刀式隔离开关	26
5 旋轉式隔离开关	29
6 擺动式隔离开关	30
7 滾动式隔离开关	31
8 有接地閘刀的隔离开关	31
9 隔离开关的操縱	32
第二章 断路器的型式	35
10 断路器的类别	35
11 多油断路器	39
12 貧油断路器	48
13 空气断路器	58
14 自动產气断路器	74
15 有金屬柵的磁吹空气断路器	74
16 有紆曲槽的磁吹空气断路器	77
17 負荷断路器	78
18 断路器的操縱	79
第三章 高压开关制造中所用的电气絕緣材料概述	86
19 絕緣材料的一般特性	86
20 气体絕緣材料	87
21 液体絕緣材料	89
22 固体絕緣材料	91

第四章 高压开关中所用的瓷瓶	107
23 瓷瓶的类别及其主要性能	107
24 瓷瓶的结构	109
25 支承瓷瓶	116
26 套管瓷瓶	122
27 金属配件装到瓷瓶上的方法	130
28 套管瓷瓶的零件	143
第五章 有机绝缘材料零件与金属部分接合的方法	150
29 螺纹接合	150
30 摩擦接合	150
31 销钉接合	153
32 压入接合	157
33 混合式接合	160
第六章 接触联接	164
34 概述	164
35 接触联接的类别	178
36 固定接触联接	184
37 可开断的接触联接	190
38 滑动的接触联接	217
39 特种触头	221
第七章 高压断路器的灭弧设备	225
40 灭弧设备的类别	225
41 简单开断(两处开断和多处开断)	232
42 去离子栅	235
43 简单灭弧室	238
44 油冲灭弧室	241
45 有金属栅的磁吹灭弧室	256
46 有纤维槽的磁吹灭弧室	259
47 用产气的固体材料制成的灭弧室	264
48 负荷断路器的灭弧室	268
49 强迫油冲灭弧室	272
50 空气吹弧灭弧设备	275

51 有并联电阻的滅弧室	295
52 滅弧設備的固裝法	297
第八章 油斷路器的構件	301
53 油箱和箱蓋	301
54 油箱襯套	311
55 油面指示器和放油器	314
56 排氣管	321
57 安全閥	326
58 分合指示器	328
59 襯墊	330
60 電流互感器的固裝	332
61 彈簧的固裝	335
62 緩沖設備	336
63 伸張機構	349
第九章 空氣斷路器的構件	368
64 氣閘	368
65 空氣導管	389
66 通風設備	395
67 空氣斷路器的操縱機構	401
第十章 隔離開關的構件	431
68 底座和支架	431
69 旋轉瓷瓶的支座	434
70 接觸系統	435
71 滅弧角	438
72 提昇桿	438
73 傳動機構	439
74 接地閘刀的取鎖	442
中俄名詞對照表	445

原 序

在蘇維埃政權下，才在俄羅斯建立起來的蘇聯高壓電器製造業，現在在許多重要電器方面已超過資本主義國家的電器製造工業。

蘇維埃的電器製造業，對於設計製造高壓開關設備已具有豐富的經驗，並在我們的文獻里有許多關於設計高壓開關設備的理論著作。本書乃是供工程技術人員和大學生們用的關於高壓開關設備實用參考書的一本初步試作。

本書的緒論是向讀者介紹有關高壓開關設備的用途，以及它們結構上的特點，並詳述高壓開關設備的主要特性。

第一章和第二章研究隔離開關和斷路器的結構，以及它們的技術數據。

第三章簡述高壓開關設備製造中所用的電氣絕緣材料。

以後各章研究斷路器和隔離開關的各個部件和零件的結構。在這几章內，著者力求把現代的結構作一全面概述，並指出各個不同結構的優缺點。

由於本書篇幅有限，不允許著者再研究強力斷路器的結構以及有關隔離開關和斷路器的操動機構的結構。準備在另一專門著作中來研究這些問題。

著者謹向羅蒙諾夫斯基(В. В. Романовский)教授和電機工程師學會列寧格勒分會(ЛЕНИТОЭ)“電器”工廠支會審查稿件並給予許多寶貴指示的小組組員表示衷心感謝，並向校閱本書的克拉斯諾葛羅茲夫(С. А. Красногородцев)工程師表示謝意。

著 者

緒 論

1 高压开关設備概述

發電站所發出的電能沿着輸電線輸送到各種用戶：工廠、工場、礦山、公用事業和其他企業。這些用戶可以位於電站附近，或者位於離電站幾十甚至幾百公里遠的地方。

供電給工業區的巨型熱電站，大都設置在開採燃料的地方，因為在同一距離內輸送電能要比運輸燃料經濟得多。水力發電站所設置的地方，是由便於利用河流的地理位置來決定的。所以，發電站所設置的地方常常離開用戶很遠。

上述情況就造成遠距離輸電的必要性。如果電能輸送的距離越遠，以及輸送的功率越大，則輸送的電壓就應越高。為了縮小輸電線的截面和降低其中的損耗，則必須升高電壓，因為在輸送一定功率時，輸電線中電流的減小是和電壓的增高成比例的。但是，電壓升高後，就增加了電器、瓷瓶、電線桿、電纜等的成本。因此，應對每一個具體輸電情況決定其最有利的電壓。

發電、配電和輸電時，應該尽可能減少對用戶停電。停電會造成全部或部分企業停工、工藝程序破壞、原料和機器損壞。

對用戶停電是由各種各樣的原因造成的，但不外乎：發電站和變電所中的設備損壞，輸電線斷線，導電部分的瓷瓶損壞等等。

每一種損壞照例會引起以各種方法聯接到自動開關設備的保護儀器發生動作，而開關設備的每一次動作，就會使用戶停電。

多年的觀察說明，很多次數的跳閘是由于為時極短暫的故障所造成的。這些故障如：因雷擊所造成的瓷瓶表面閃絡故障，以及因飛鳥或偶然落下的樹枝所造成的相間短路等。如果將故障區域從供電電源中切除，則由于上述任一原因所發生的電弧，就會很快地熄滅。電弧熄滅

后、曾被燒伤的瓷瓶可以重新工作、切断的線路可以再接入,而对用戶的供电也可以恢复。从跳閘到重合閘的时间間隔可为十分之几秒。实际上这决定于开关設備的結構。

观察的数据指出,就弧道消电离情况而論,所需的时间間隔为0.2~0.3秒。这时间間隔对用戶的业务來說,实际上影响是極小的。

自动重合閘的可能性和在苏联所拟定的線路帶电修理方法,提高了对用戶供电的可靠性。

任一动力系統的配电設備中,应裝置能做到如下工作的电器:

a) 在动力系統正常工作程序中所需要的合閘、跳閘和換閘。

b) 在發生故障时,尽快切除故障区域。

b) 从線路中开断和隔离任一电器或設備的一部分,以便可以对它們安全地進行檢修。

这种电器称为开关設備。最重要的开关設備是断路器,它在动力系統的正常工作中需能進行合閘、跳閘和換閘,同时,在發生最嚴重的短路故障时,需能切除动力系統中的故障区域。因此,断路器不僅應該能接通和开断設備正常情況下所限定的电流,还应该能接通和开断超过工作电流几十倍或几百倍的短路电流。

在这两种操作(合閘和跳閘)中,最困难而最重要的是跳閘操作,而且被切断的線路电压愈高,这种操作的执行就愈困难。

个别高压电器和电机或輸电線的修理、調整、檢查應該在不开断該設備的其他工作部分的情況下進行,但必須遵守保障担任这些工作的人員的安全条件。保証安全的最重要方法是將進行檢修的部分与其他帶电部分妥为隔离。同时,开断时必须采用电器,而且線路的断开处应明顯易見。隔离开关就是这样的电器。

隔离开关用于只有电压的电路中來开断和接通其無电能 的区域,所以,高压断路器的跳閘在隔离开关开断之前。

隔离开关也用于母線的分段、电線的接地和完成各种換接。在个别情况中,隔离开关也用来开断不大的电流(例如,短距离架空線的电容电流、功率不大的变压器和电压互感器等的空载电流)。

当母線损坏或修理时,为了提高供电的可靠性,配电设备中有兩組母線系統,一組是工作母線,另一組是备用母線。通常是一組母線系統在工作,而只有在损坏或修理时,負荷方轉移到另一組上去。

工作母線系統分成兩段。兩段之間用电抗器以及与电抗器串联的分段断路器 B_3 联接起來。用隔离开关 P_5 、 P_6 、 P_7 和 P_8 將电抗器和分段断路器接到母線上去。正常时,就是發电机在工作母線系統上工作时,隔离开关 P_6 和 P_8 是合閘的,而隔离开关 P_5 和 P_7 是开断的。

分段断路器 B_3 的用途如下: a) 当一段母線發生短路时,立刻自动將它們隔离開來(另一段仍可繼續工作); b) 將發电机并联起來,如果母線上各段在这以前是單獨工作的; b) 拆除电抗器或修理某一段时,切断其电路中的电流;这时除开断分段断路器外,又开断隔离开关 P_5 、 P_6 、 P_7 和 P_8 。 P_5 、 P_6 、 P_7 和 P_8 这四个隔离开关的存在,可以使电抗器联接在工作母線系統的各段之間,并可以联接到备用母線系統中去。

每个發电机用断路器和有兩個隔离开关的分路联接到兩個母線系統上去。因为只有一个母線系統处在工作中(在某一下工作的),所以,隔离开关 P_2 和 P_4 是合閘的,而隔离开关 P_1 和 P_3 是开断的。具有發电机电压的用戶的电線分別用断路器 B_4 、 B_5 、 B_6 和 B_7 和有兩個隔离开关 P_9 和 P_{10} 等的分路联接到兩個母線系統上去。

为了限制短路时的短路电流值,在具有發电机电压的引出線上裝有电抗器,在电抗器后面也裝有隔离开关。

为了要使工作母線系統中每一段的負荷可以轉移到备用母線系統上去,在各段之間裝有母線聯絡(母線之間的)断路器 B_8 和 B_9 ,并在聯絡断路器的兩边裝有隔离开关。当發电机在一个母線系統上工作时,母線聯絡断路器 B_8 和 B_9 兩边的隔离开关是合閘的,而断路器 B_8 和 B_9 是开断的。为了要將工作母線系統中任一段的負荷轉移到备用母線系統上去,相应的断路器合閘,于是备用母線系統就帶有电压。然后,在發电机上和接在这一段的电線上,备用母線系統的隔离开关,如 P_1 和 P_9 合閘;同时,工作母線系統的隔离开关,如 P_2 和 P_{10} 开断。

母線聯絡断路器不僅用來將負荷从一个母線系統轉移到另一个母

線系統，還可代替發電機的斷路器或任一線路的斷路器，當後者損壞或修理時。例如，如果斷路器 B_4 損壞時，則將隔離開關 P_{10} 開斷，而接一跨線來替代斷路器 B_4 。然後，將隔離開關 P_9 和母線聯絡斷路器 B_8 合閘。這樣，損壞了斷路器的線路經母線聯絡斷路器和備用母線而聯接到工作母線系統上去。

母線聯絡斷路器兩邊的隔離開關是必需的，因為有了它們才可以在檢修母線聯絡斷路器時，不致使接到母線各段的用戶停電。

經斷路器 B_{17} 、 B_{18} 以及它們各自的隔離開關的分路，在發電站配電設備的母線上接入昇壓變壓器，當供電給附近用戶時（40 公里半徑以內），它將發電機的電壓從 10 仟伏升高到 38.5 仟伏；而供電給遠距離的用戶時，則升高到 121 仟伏。變壓器的高壓側經斷路器和隔離開關接到變電所的母線。從每一變電所的母線上所引出的線，也經斷路器和隔離開關接向母線。應該注意，在 121 仟伏側的隔離開關 P_{11} ，有一個供修理線路時用的接地閘刀（ P_{11} ，6）。只有當 P_{11} ，a 開斷以後，這接地閘刀方可合閘。

高壓開關設備可以裝置在建築物內（室內裝置）和建築物外（室外裝置）。室內開關設備的工作條件較室外的要好得多，因為後者要受到雨雪的侵襲，又有冰凍復蓋其上（圖 2）。

開關設備可以在各種完全不同的氣候或地勢下工作。它們也可以裝在灰塵很多的地方、有導電氣體和化學氣體的地方、有雨雪和潮氣的地方、有爆炸性氣體的地方等。在設計製造這種設備時，必須估計到它們所有可能的工作情況，同時力求保證在這些情況中工作正常。

對於一般所用的開關設備，採用下列情況作為設計條件：

- a) 周圍溫度——不高于 $+35^{\circ}\text{C}$ ，不低于 -40°C ；
- б) 裝置的高度——不高于海拔 1000 公尺。

如果，我們預料開關設備的工作情況不同于上述正常情況時，則應在它們的結構中加入一些適當的修正和補充。

如果開關設備是裝在高于海拔 1000 公尺的地方時，則在設計中所用的放電電壓應較 1000 公尺時增加，通常每升高 1000 公尺增加 1%。



圖 2 冰冻盖满了的室外隔离开关。

每一个高压开关设备只指定在某一种规定情况下工作，这些情况决定了开关设备的型式，而且每种型式有其各个不同的额定参数（特性数值）。

2 高压开关设备的主要参数●

高压开关设备的主要参数是：额定电压、额定电流、短路电流通过时的稳定性(热稳定性和电动稳定性)和装置情况。

除上述参数外，高压断路器还有下列特性：合闸电流、开断电流和开断容量。

讓我們來研究一下，这些参数各是些什么东西，它們怎样影响开关设备的結構。

能保証开关设备工作的最高标准电压(線压)称为开关设备的额定电压。

在苏联，高压开关设备采用下列等級的额定电压(ГОСТ 721-41)●：

3; 6; 10; 15; 20; 35; 110 (154); 220 仟伏。

电压超过额定电压的 10~15% 时，高压开关设备应该能可靠地工作。这种电压称为开关设备的最大工作电压。

苏联的高压开关设备相应采用下列各最大工作电压：

3.5; 6.9; 11.5; 17.5; 23.0; 40.5; 121; 169; 242 仟伏。

由于各种不同的原因，在电力網中可能發生过电压，所以每个高压开关设备应具有相当的絕緣強度，就是說在开关设备的鄰極或相間的導电部分之間，或導电部分与地之間發生放电現象的最小电压(放电电压)值与额定电压值之間要有一定的比率。

高压开关设备应该承受的放电电压数值列在表 1 中。

放电电压的大小决定了电距离，所謂电距离者乃是开关设备鄰極或相間的導电部分之間以及導电部分对接地部分之間所必需的距離。通常，在設計开关设备时要注意到：空气中的电距离和油中的电距离(空气中和油中的电距离，見第三章)。

开关设备能作持久工作的电流称为开关设备的额定电流。

● 各参数的定义与 ГОСТ 6-7-41、ГОСТ 686-41 相符。

● 新的 ГОСТ 計劃对于额定电压的等級有若干更改，即加入 60 及 400 仟伏的电压。

表1 高压开关设备的放电电压

(根据 ГОСТ 1516-42)

額定电压 (仟伏 有效值)	試驗电压 (仟伏 有效值)	隔离开关同一極开断后 触头之間的干放电电压 (仟伏 有效值)	湿放电电压 (仟伏 有效值)	对地干放 电电压 ① (仟伏 有效值)
3	24	31	—	28
6	32	44	28	36
10	42	58	34	43
15	55	76	47	57
20	66	92	57	68
35	95	135	80	110
110	260	345	220	295
154	360	485	205	375
220	500	670	430	550

① 这些数字取自“电器”厂的資料，因为 ГОСТ 1516-42 中並未規定对地干放电电压。

苏联的高压开关设备采用下列等級的額定电流：

200; 400; 600; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000 安。

当額定电流通过开关设备的导电部分时，这些部分的發热不应大于設計温度，我們采用的設計温度是：

+110°C——用于裸露而并不接触到絕緣的部分，以及接触到陶瓷的部分。

+90°C——用于处在油中或考邦中的裸露部分。

+75°C——用于动触头和定触头。

但为了保証开关设备能工作正常起見，必須考慮到可能有短路电流通过它們的导电部分。在现代的动力系統中，短路电流可以达到几万安或几十万安。当这样大的电流通过导电部分时，导电部分和支承它們的結構受到了極大的机械应力(电动力)和發热影响。在很多情况下，这电动力是如此巨大，以致必須特別注意它，并且要以很大的努力來制造有足够机械強度的結構。發热作用使导电部分过热(达几百度)，因此，这些部分的机械强度就減弱了。

高压开关设备应该有足够的电动穩定性和热穩定性，換言之，在合

開位置中，當可能的最大短路電流通過時，它應該承受得住而不損壞。

高壓開關設備的電動穩定性是由極限沖擊（最大許可的）短路電流的顛峰值和有效值來決定的。

所謂極限沖擊電流就是在開關設備中通過而它能安全承受並不妨礙其以後正常工作的最大沖擊短路電流，而且不管短路時間是怎樣的短暫，對於一定的開關設備不應該超過最大沖擊電流值。

極限沖擊電流決定於短路第一週內的顛峰值和有效值。極限沖擊電流的顛峰值與其有效值之比（振幅係數）由下式決定：

$$\frac{I_a \sqrt{2} + I_e}{\sqrt{I_a^2 + I_e^2}},$$

式中 I_a ——電流週期性分量的有效值；

I_e ——電流非週期性分量的平均值。

理論上可能的最大振幅係數等於 1.73。

開關設備的熱穩定性決定於下述的電流，就是流過開關設備時，在 10 秒鐘內（10 秒鐘電流）不致使它超過一定溫度（就是在短路電流通過時，各相應部分所容許的溫度）的最大電流。這種電流稱為開關設備的熱穩定電流。

應該用下述公式來求出持續 t 秒鐘的熱穩定電流 I_t ：

$$I_t = I_{10} \sqrt{\frac{10}{t}}.$$

如果所求得的 I_t 值大於極限沖擊短路電流的有效值時，則所採用的熱穩定電流值等於極限沖擊短路電流的有效值。

聯接有適當操動機構的斷路器，可以在一定電壓下接通一定的最大短路電流，而不致使起觸頭熔化，也不會發生其他足以妨礙斷路器繼續正常工作的損壞，這個最大短路電流就稱為在該電壓下的合閘電流。

合閘電流的數值決定於斷路器觸頭的結構和使斷路器合閘的操動機構的功率。

所謂在一定電壓下斷路器的開斷電流，就是在該電壓（線壓）下可以切斷的最大電流，並且不致引起足以妨礙其繼續正常工作的損壞。

与断路器额定电压相当的开断电流值称为断路器的额定开断电流。在各种不同电压下的最大开断电流值称为最大开断电流。

开断电流是断路器重要特性之一，同时，基本上决定了断路器灭弧设备的结构。

额定开断电流乘以额定电压，再乘以 $\sqrt{3}$ 所得之积称为断路器的额定开断容量。

苏联的高压断路器，采用下列额定开断容量：(15)；20；50；(75)；100；(125)；150；200；250；300；400；500；750；1000；1500；2000；2500 兆伏安。

断路器的结构也被下列特性所决定：

工业频率的恢复电压，就是各相中电弧熄灭以后，在断路器接线端上出现的线压的有效值。

电压恢复的平均速度——假定的数值等于工业频率的恢复电压的额定值除以线路固有振荡基波速率的四分之一所得之商。电压恢复速度是断路器的一个极重要特性，但是它还没有形成一定的规则或标准，规定为高压开关制造厂所必须执行。

有操动机构的断路器的开断固有時間，就是从發佈开断命令起（接通开断线圈的电路）到灭弧触头开始分开所間隔的时间。無操动机构的断路器的开断固有時間，就是从释放断路器的运动部分起，到灭弧触头开始分开所間隔的时间。

断路器的电弧持續時間，就是从灭弧触头开始分开起，到各相中的电弧完全熄灭为止所間隔的时间。

有操动机构的断路器的开断時間（到电弧熄灭），就是从發佈开断命令起，到各相中电弧完全熄灭为止所間隔的时间。

按照 ГОСТ 687-41，断路器可根据开断時間分为三类：a) 高速断路器；б) 快速断路器；в) 慢速断路器。

开断時間（就是从發佈开断命令起，到各相中电弧完全熄灭为止所間隔的时间）不应大于：高速断路器——0.08 秒；快速断路器——0.15 秒；慢速断路器——0.25 秒。