

全国供电技术会议文件

3

提高开关遮断容量

652

11

水利电力出版社

0202102

內 容 提 要

本書是全国供电技术會議文件之三，内容包括提高44千伏富士多油开关、23千伏开关、11千伏FH-6型少油开关、6.6千伏日立6Y-10MA型多油开关遮断容量的具体方法和实际經驗，全国供电技术會議关于提高开关遮断容量問題的总结，以及用刀閘切斷空載变压器的經驗总结。

本書可供电力系统和工业企业的供电和发电人員在进行原有开关增容工作时参考。

* * * *

全国供电技术會議文件

- | | |
|---------------|------------------|
| 1. 全国供电技术會議文件 | 6. 提高供电網的运行水平 |
| 2. 綫路升压 | 7. 送电綫路的串联电容补偿 |
| 3. 提高开关遮断容量 | 8. “兩綫-地”制电力網的試驗 |
| 4. 提高变压器出力 | 9. 农村供电網 |
| 5. 供电網的基建設計 | |

1958

全国供电技术會議文件

3

提高开关遮断容量

全国供电技术會議秘書处編

*

1722D478

水利电力出版社出版（北京西郊科學院二里溝）

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店发行

*

850×1160 $\frac{1}{16}$ 开本*2 $\frac{1}{4}$ 印張*47千字*定价(第9类)0.38元

1958年12月北京第1版

1958年12月北京第1次印刷(0001—8,100册)

目 录

I. 关于提高开关遮断容量問題的总结	2
II. 44千伏富士多油开关遮断容量的提高	2
一、灭弧裝置的改善	5
二、触头的改善	8
三、运动特性的改善	10
四、遮断試驗及結果	25
五、改造的經濟性	28
六、結論	28
III. 23千伏少油和多油开关遮断容量的提高	29
一、上海23千伏油开关的一般情况	29
二、奇异FH-6型油开关短路試驗結果	31
三、茂偉K5型油开关的改进	34
四、今后的工作計劃	35
IV. 11千伏FH-6型少油开关遮断容量的提高	36
一、遮断能力的提高	36
二、閉合短路工作能力的提高	39
V. 6.6千伏日立 SY-10MA型油开关遮断容量的提高	46
一、SY-10MA型开关的綜合分析及改造方案的确定	48
二、改造措施方案	49
三、开关的具体改造及試驗	60
四、結論	62
VI. 用刀閘切斷空載变压器的經驗总结	63
一、意义	63
二、方式	63
三、环境条件的影响	65
四、測得的主要結果	67
五、結論	68

I. 关于提高开关遮断容量問題的总结

全國供电技术會議开关增容專題小組

(見1958年全國供电技术會議文件1第14頁)

II. 44千伏富士多油开关遮断容量的提高

遼吉电業管理局

近几年来,系統发电容量日益增加,电网短路功率也相应地随同上漲。仅辽吉电网中,即有相当数量的开关急待更換。要在較短的时间里更換相当数量的开关,显然無論从經濟上、時間上、以及貨源上来看,都不是一件簡單的事情。

众所周知,开关容量的提高,同灭弧裝置、操作机构分合閘特性以及导电回路的改善是分不开的。旧有开关容量之所以不高,主要是受到当时技术水平的限制,設計时往往考虑不够周全。因此,在旧有开关原有結構上作合理的改进,短期停电进行檢修重裝,以提高开关的遮断容量,將是解决电网运行中开关遮断容量不足的根本方法。

日本富士工厂制造的多油开关,占辽吉电网44千伏系統旧有开关总数的70%。这类开关按遮断容量基本上可以分为400兆伏安和1,500兆伏安兩級(見表2-1)。文献及运行經驗表明,旧日本开关不仅遮断能力不能达到厂家規定的名牌要求,且对供电安全起积极作用的重合閘也缺乏保証。

根据电网发展需要,开关遮断能力应分別提高至1,000~2,500兆伏安。因此我們即着手进行提高遮断容量工作。

对旧有結構的分析驗算表明,A、B二級开关的套管、导电回

表 2-1

級 別		A	B
額 定 電 壓 (千 伏)		46	46
額 定 電 流 (安)		600	600
遮 斷 容 量 (兆 伏 安)		400	1,500
觸 頭	型 式	平面片狀梅花觸頭	平面片狀梅花觸頭
	每相數量(對)	2	4
滅 弧 裝 置		簡單滅弧室	其中二對為了彈性滅弧室, 另二對無滅弧室
操 作 機 構		電磁式, 馬達式	電磁式, 汽動式
觸頭閉合接觸瞬時速度 (公尺/秒)		1.25	0.9
觸頭分離瞬時速度 (公尺/秒)		0.78	0.7

路、油箱，傳動機構和絕緣拉杆，都能分別滿足遮斷容量提高到1,000~2,500兆伏安後的電動穩定、熱穩定以及機械強度的要求。

這類開關的薄弱環節是：

1. 滅弧裝置 A級開關原有滅弧裝置是一個簡單滅弧室(圖2-1)，這種滅弧室的缺點，不僅在切斷短路電流時由灼熱的游离氣體進行吹弧，去游离作用不夠有效可靠(因為在切斷小電流時，滅弧室內壓力不大，去電離作用不強，往往使熄滅電弧時間拉長，甚至有時不能熄滅電弧)，而其更大的缺點是充油時間過長，不能滿足重合閘要求。

B級開關有二對觸頭安裝彈性滅弧室(圖2-2)，另二對觸頭無滅弧室，四對觸頭串聯組成了滅弧裝置。原滅弧裝置結構為了彌補開斷短路電流時觸頭間的發弧電位梯度不足，所以附加了二對無滅弧室的觸頭。但是這種布置，當其遮斷容量提高後，二對無滅弧室的觸頭在切斷短路電流時產生的壓力，將使油箱的負擔更為沉重。運行證明，在目前的容量下個別地區已發現開關油箱有局部變形。

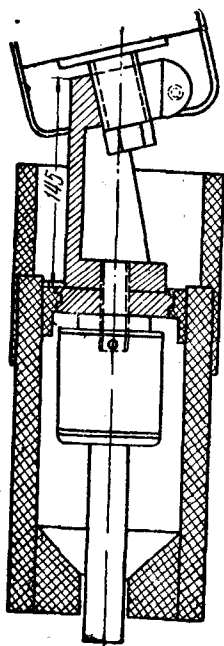


图 2-1

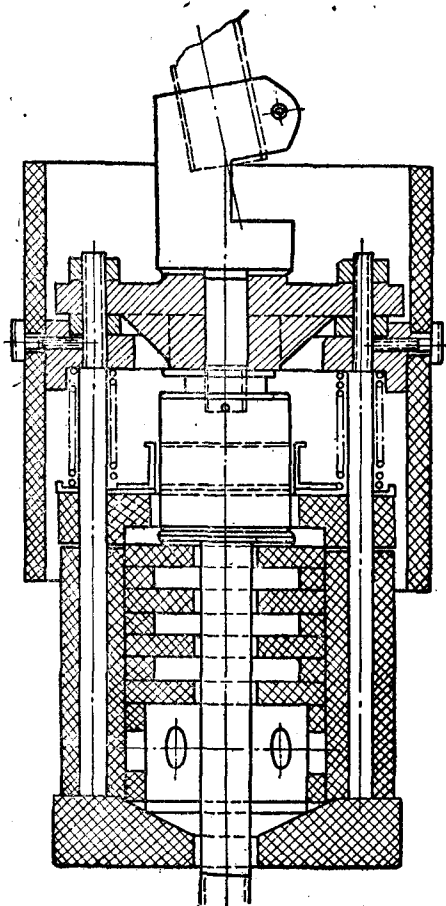


图 2-2

2. 触头 *A* 级和 *B* 级开关的原有触头，采用了平面触片梅花触头(图2-3)。这种触头的优点是触头闭合时接触点数多，接触电阻小。缺点是：1)触片太小，容易被电弧烧坏，不宜作为灭弧触头；2)触头用铜-铜材料作成，闭合短路电流时的熔焊电流小；3)触片同静触头支座联接脆弱。原触头结构一般在短路电流为10千安左右时，尚能勉强使用，但如超过此一数值，触头性能

就不能胜任。

3. 运动特性 原运动特性参数见表2-1。原分闸运动特性，是当遮断容量提高后，将使灭弧室内压力增高，导致开关爆炸。原合闸运动特性，是当遮断容量提高后，电力以平方比例增加，开闸弹簧强化；这将使开关无法进行闭合短路电流的工作，甚至发生触头焊结，从原运动特性显见，在提高遮断容量时，必须加以改善。

由上述分析可见，这类开关欲提高遮断容量，应从灭弧装置、触头和机构运动特性三方面进行改善。

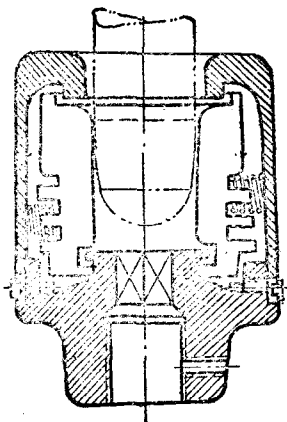


图 2-3

一、灭弧装置的改善

旧有开关的灭弧装置落后，是遮断容量很低和不能适应重合闸工作的主要原因。在研究提高旧有开关的遮断容量时，首先要考虑到的是应该如何改善灭弧装置结构。

一个满意的灭弧装置应是遮断能力高，能成功地开断小电感性和电容性电流，并使灭弧装置内充油时间减至最低，以满足重合闸要求。

比较现有各种自激灭弧装置的结构，选定下述二种灭弧装置作为改善原灭弧装置的结构。

1. 横吹灭弧室 横吹灭弧室(图2-4)是当前3~40千伏电压级遮断能力最高的一种自激灭弧装置。这种灭弧室在触头分开时，触头间产生电弧，将油分解成气体，使灭弧室内压力增高；当触头分离至喷口时，气体和油从喷口吹出，此时一方面产生剧烈的去电离作用，另一方面将电弧拉长，电弧很快的即被截断熄灭。这种灭弧室的特点，是灭弧室内附设了空气缓冲室，有了这个元件，当短路电流的大小变动时，由于空气具有可压缩性，从

而有效地减少灭弧时压力的变动，这对熄灭电弧非常有利。同时，灭弧室结构考虑到当分闸速度提高后有效地熄灭小电流，在灭弧室下部加設了一段縱吹元件。这种灭弧室的另一特点，是控制緩冲室空气体积的小孔位置偏于一旁，这較 MKII-35 型緩冲室小孔位置正对着电弧作用致压缩的油流出孔口有利得多。因为 MKII-35 型灭弧室小孔的位置，在灭弧时使强烈的油流或气流从孔口噴出，这对維持灭弧室內具有一定压力是不利的。而图 2-4 所示 MKII-35-Y 型橫吹灭弧室的小孔偏于一傍，油流或气流比較緩和，同时亦减少对鋼筒的冲击力。苏联已用此型灭弧室成功地切断了 33 千安的短路电流。

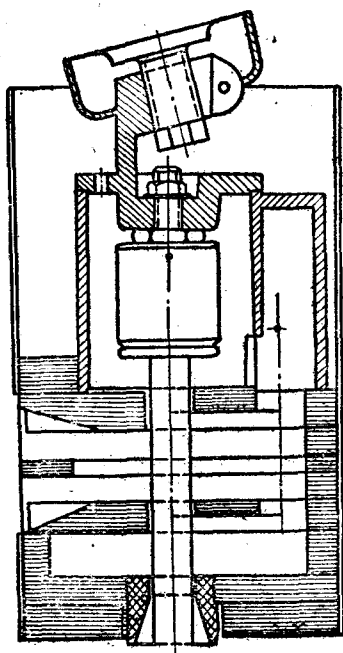


图 2-4

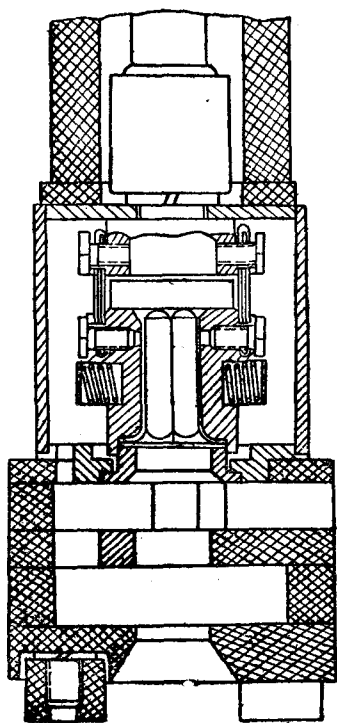
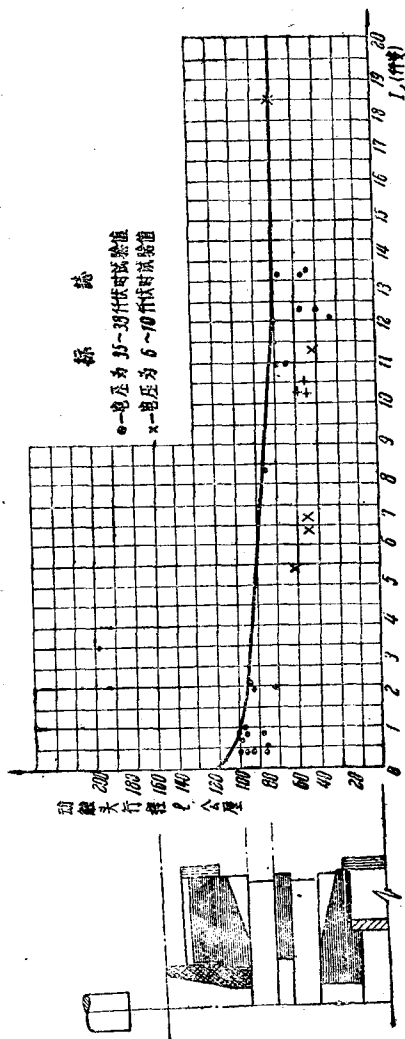


图 2-5

从今后电力系统跃进发展形势来看，短路电流势将更急剧上涨，而横吹灭弧室的遮断能力有很大的潜力可挖。最近苏联改进后的新型横吹灭弧室结构，已将钢筒附加容积全部取消，灭弧时间缩短至 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 周波，灭弧室的机械强度加强了一些。采用这种改良后的灭弧室，气体压力将较前增加（大电流时可达50个大气压），因此弧隙上只有出现很高的过电压时方可击穿，通常是不会击穿的。由于取消了钢筒的附加容积，灭弧时产生的大压力，首先发生气体吹弧，好象空气开关，在电流经过固有零点时正好有新鲜的油流流过。如适当地选择这种灭弧室，将使遮断容量提高一倍。图2-5是这种灭弧室各电压等级中的一种结构。

2. 弹性灭弧室 弹性灭弧室(图2-2)是纵吹灭弧室中优良结构之一。这种灭弧室当触头分开后，触头间产生电弧，将油分解成气体，使灭弧室许多圆盘间的小室中产生很大压力，当压力达到足够压缩



簧的数值时，圓盤即被托起，在圓盤之間形成縫隙，发生縱向吹弧，使电弧很快熄灭。彈性灭弧室的特点是电弧燃燒時間較短，而且开断大电流时，圓盤可防止灭弧室发生过太压力；开断小电流时，因为喉管与动触头之間縫隙很小，故能产生足够压力熄灭电弧。但其缺点在于灭弧过程中弧隙間缺乏新油补充，发弧电位梯度勢較橫吹灭弧室低些。

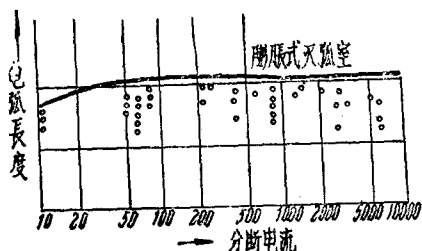


图 2-7

图 2-6 为 MKII-35-Y 型橫吹灭弧室开断电流特性曲线，图 2-7 为彈性灭弧室开断电流特性曲线。从曲线中可以看出二种灭弧室开断大、小电流的性能都是良好的。

比較二种灭弧室結構，

橫吹灭弧室的遮断能力較彈

性灭弧室优越。而彈性灭弧室因发弧电位梯度較低，遮断容量不能超过 1,500 兆伏安。

为提高遮断容量选择灭弧室时，必須考虑灭弧室合理的調配使用，从而降低改造費用。

因此，富士开关的灭弧室选定如下：

A 級开关选用原彈性灭弧室，不足之数采用 MKII-35-Y 型橫吹灭弧室；

B 級开关选用 MKII-35-Y 型橫吹灭弧室或无附加容积的新型橫吹灭弧室。

二、触头的改善

触头是开关重要元件之一，也是开关中工作条件最困难、最易发生故障的元件。所以在提高开关遮断容量时，必須考虑到如何使触头性能滿足要求。

一个滿意的触头結構，应是流过額定电流和短路电流时不超过允許溫度，在閉合短路故障时不发生熔焊，在多次切断短路电

流令触头烧伤程度应不影响开关的正常工作。

特别应该指出：触头结构性能的优劣，同样是决定开关遮断性能主要因素之一。因此用熔点較低的金属材料制成的触头，在开断短路电流时的高温电弧作用下，金属蒸汽和熔化的金属颗粒充满弧隙，会降低开关的发弧电位梯度，削弱遮断能力，甚至引起連續点弧，終至不能熄灭电弧。

比較各种梅花触头的結構，以瓣式梅花触头的性能最为优越。因为这种触头不仅触片数量少，質量大，而且触片同支座的联結是利用軟銅片作固定联結，接触十分可靠。

图 2-8 是改进后的触头結構。这种触头結構，是在BMT-133型少油开关瓣式梅花触头結構的基础上修改而成的。

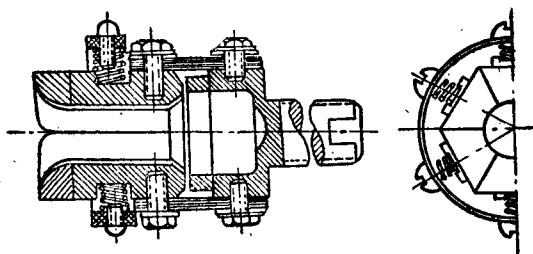


图 2-8

改进后的瓣式梅花触头，同 BMT-133 型梅花触头不同之处是：

1. 按灭弧室喉口及原动触头直径(27公厘)，將靜触头尺寸作了相应的增大，触头压力維持不变(8 公斤)。
2. 在触片及动触头端头加裝鎢銅合金，提高触头閉合时的熔焊电流，防止开断时触头烧伤，减少灭弧时金属蒸汽和颗粒产生的不良影响。

瓣式梅花触头在短路状态下通过短路电流能否熔焊，取决于触片同动触头通过接触点产生的电动斥力和触片之間产生的电动吸力誰战胜誰的問題。

瓣式梅花触头电动力的計算，尚未找到精确可靠計算方法。

一般驗算可采用下列公式进行估算。

$$F = 4.08 \frac{n-6}{n^2} - \frac{l}{d} \left[\frac{1.5}{1 + \frac{h}{d}} - \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{d}\right)^2} \right] I^2 \cdot 10^{-8} (\text{公斤}).$$

式中 n ——触片数量，6片；
 l ——触片長度，取4公分；
 h ——触片寬度，取1.26公分；
 d ——动触头直徑，取2.7公分。

在我們的計算中采用了下列数据：

n_0 ——接触点数，取3；
 σ_0 ——触头金屬抗压强度，取5,000 公斤/公分²；
 q_0 ——接触面积(每触片)，取5.04 公分²；
 F_s ——触面压力，取3.5 公斤；
 I_0 ——通过触片的短路电流 $\frac{I}{6}$ 。

計算表明改进后的梅花触头，在短路状态下通过短路电流时，触片間电动吸力大大的大于电动斥力，触片不致彈开，也不会因电动应力产生熔焊。文献介紹：同型触头实地断流試驗結果表明，触头在32千安甚至40千安短路状态下工作十分可靠，同时由于采用了有能耐弧性能的鎢銅合金端头，大大地降低了弧隙的金屬蒸汽和顆粒，有效地減輕了灭弧室的灭弧負担，而且触头端面燒損率也大大降低。从而大大提高了触头的使用寿命，延長了檢修周期。

三、运动特性的改善

开关的分合閘运动特性，在提高遮断容量工作中起着基本作用。从旧有开关一般情况来看，其动作時間一般均較緩慢，因此在开关改造工作中，运动特性的改善將是一項較為繁重的工作。

一个滿意的开关运动特性，应是在正常短路情况下都能正确无誤地进行开断和閉合动作，同时并將自动重合閘动作縮至最短時間。

日本富士开关有气动、马达、电磁三种传动装置，其中电磁式数量最多，马达式最少。鉴于电磁式传动装置在电网旧有开关中占绝对多数，具有普遍的意义，因此，在富士多油开关改造工作中选定了电磁式传动装置作为改造对象。

1. 分闸运动特性的改善 开关分闸特性，取决于灭弧室灭弧性能的要求。自激灭弧装置的灭弧原则，是依靠电弧自身产生的能量来熄灭电弧。因此，分闸运动特性必须同时考虑大小电流的灭弧问题。

在大电流情况下熄灭电弧，主要取决于触头分离的瞬时速度。如果速度过慢，电弧持续时间过长，电弧产生的能量大，灭弧室内压力高，就有可能引起灭弧室机械强度承受不了终致爆炸的危险。

在小电流情况下熄灭电弧，由于电流小，短时间内灭弧室压力不高，为了熄灭电弧，必须通过一段不短的距离后，灭弧室具备了一定压力，同时由于距离拉长，弧隙击穿电压亦相应升高，电弧即被熄灭。所以熄灭小电流电弧，对控制触头分离的瞬间速度意义不大，更主要的应是触头分闸速度连续控制的问题。

由此可知，大电流灭弧决定触头分离的瞬时速度，小电流灭弧决定于触头分闸速度的连续控制。

分析大电流情况下灭弧时产生的能量可知，电弧能量主要决定于电流数值的大小，而同线路电压基本无关。

1) 触头分离瞬时速度的确定 开关触头分离瞬时速度总有一定范围，其上限主要是考虑机构强度，合闸功率，油的粘度影响等因素；而其下限主要是如何满足最低熄灭电弧的要求。

在灭弧室型式相同而遮断容量不同时，为了达到维持灭弧室压力不变，分闸触头分离瞬时速度 v_0 可按下列公式确定：

$$I_{omk_0} / v_0^n = K \quad v_0 = v_1^n \sqrt{I_{omk_0} / I_{omk_1}}$$

以 MKII-35 型开关不同容量的分闸触头分离瞬时速度数据验算，求得 MKII-35 型横吹灭弧室的 n 值为 3.165。

这样根据 $v_0 = v_1^n \sqrt{I_{omk_0} / I_{omk_1}}$ 公式，分别求得开关遮断容量

提高后的触头分离瞬时速度 v_0 (下限)。

遮断容量提高至1,000兆伏安时 v_0 为1.39公尺/秒。

遮断容量提高至2,500兆伏安时 v_0 为1.85公尺/秒。

2) 提高开关分闸运动特性的方法 开关分闸速度特性可用下式表示:

$$v_h = \sqrt{\frac{2}{\Sigma M_n} \int_0^h F_n dh}, \quad F_n = F_{np} + G - F_T.$$

式中 ΣM_n ——总的归化质量;

h ——行程;

F_n ——总的归化力;

F_{np} ——弹簧作用力;

G ——重力;

F_T ——摩擦力。

从上式可见, 提高分闸速度的途径应是: (1) 增加弹簧作用力; (2) 降低总的归化质量; (3) 增加触头接触行程; (4) 降低摩擦力。

增加弹簧作用力 在总的归化力中, 弹簧作用力是最主要的作用力。从多油开关传动装置的动作原理可知, 分闸弹簧在合闸过程中被压缩而储备能量, 在开关分闸时传动装置脱扣, 分闸弹簧储能释放, 驱使触头分闸。由此可以看出, 增加分闸弹簧作用力, 一方面提高了分闸速度, 另一方面也增加了合闸功率。因此增加弹簧作用力的满意方法, 应是满足分闸速度要求, 符合连续控制分闸速度以及将合闸所需的功降至最少。

使用在多油开关传动装置上的分闸弹簧有二种: 一种叫做连续作用弹簧, 这种弹簧从分闸开始释放能量, 直至分闸结束能量释放为零, 此类弹簧有的具有初应力, 甚至分闸结束后尚存有一定的能量。另一种弹簧叫做空程弹簧, 这种弹簧从分闸开始释放能量, 但当分闸尚未结束能量已释放为零。

分析二种弹簧: (1) 假设空程弹簧所作的总功 Δa_{ji} 等于连续作用弹簧所作的总功 Δd_{ji} (见图2-9a)。设 a 点为触头分离瞬

間位置，則空程彈簧所作的功 Δabc 將大于連續作用彈簧所作之功 Δdef ，亦即触头运动到 A 点位置时，空程彈簧作用触头产生的触头分開速度，將大于連續作用彈簧产生的速度。由此可見，空程彈簧可以在影响合閘功率很小的条件下提高分開速度。(2) 假設二种彈簧为了維持分開触头分离瞬时速度相等(見图2-96)，令功 Δadc 等于功 Δaef ，但是連續作用彈簧所作的总功 Δabi 將大于空程彈簧所作的总功 Δaef 。从此可見，連續作用彈簧为取得触头分离瞬时速度，不仅合閘功率將大大增加，同时触头分開的最大速度亦將提高。这将增加連續控制分開速度的困难，并給分開接近終了时吸收动能的緩冲裝置制造成了不利条件。从上面的分析可以認為空程彈簧較連續作用彈簧有利。

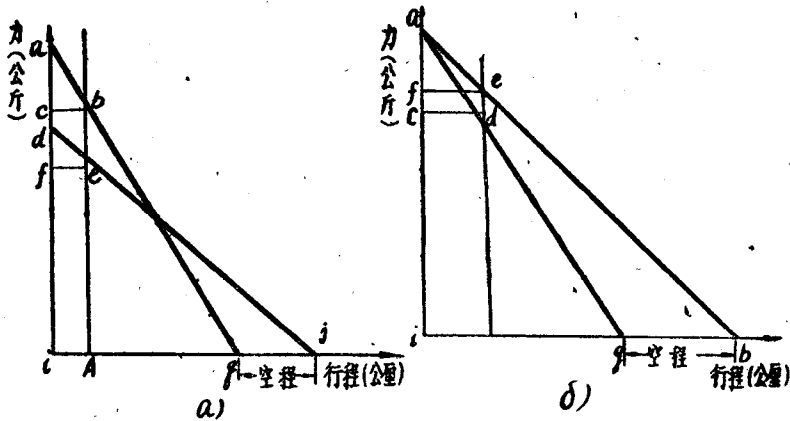


图 2-9

富士 A 級多油开关原分開彈簧为連續作用彈簧，其布置見图2-10a； B 級多油开关原分開彈簧为空程彈簧，其布置見图2-106。为了提高分開速度，通过試驗确定將 A 級开关分開彈簧換为炭素鋼空程彈簧，它的鋼絲直徑是6公厘，有效圈数17圈，有效直徑26.5公厘，有效長度102公厘，空程52公厘。在 B 級开关的二相联动机构箱內各添加炭素鋼彈簧族一組(見图2-106中的

虛綫)，其中一組的鋼絲直徑是8公厘，有效圈數9圈，有效直徑54公厘，有效長度126公厘，壓縮44公厘；另一組的鋼絲直徑是5公厘，有效圈數14圈，有效直徑32公厘，有效長度120公厘，壓縮40公厘。

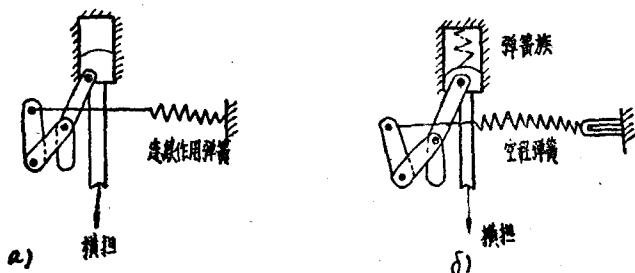


图 2-10

降低总的归化質量 从开关各部質量归化的結果来看，多油开关主要的注意点应是触头系統(銅触头、絕緣提升杆、橫担等)的質量，至于联动機構彈簧等等，虽然亦应归化到总的質量內，但是与触头系統質量相形之下通常是很小的，尤其是旧开关的改造，一般很少包括改造联动機構內容。因此考虑降低总的归化質量时，主要的措施是在滿足电动稳定及热稳定的条件下降低触头系統的質量。

降低触头系統質量的方法，一般是采用減輕动触头和橫担重量。从旧开关結構来看，不在少数的触头系統的截面偏大，例如富士开关有的动触头直徑为27公厘，是实心触头。驗算指出，即便是提高遮断容量至2,500兆伏安，动触头热稳定对直徑的要求也仅需23公厘。

按灭弧要求，在确定提高B級开关分開速度措施中削除了二对动触头，拆去了不必要的橫担，并在維持动触头27公厘直徑的条件下，沿触头中心車去12公厘，共約降低触头系統質量 $\frac{1}{2}$ 。根据在其他条件不变的情况下实測的結果，分開触头分离瞬时速度增高了約 $\frac{1}{2}$ 倍。当然，由于削除了不必要的橫担和触头，附帶亦相应地降低了油的阻力。

增加触头接触 在式(2-10)中, 显见增加触头接触行程将使分闸速度提高。

应该指出, 这种方法只适合开关提高遮断容量不高、且合闸功率有足够裕量的情况下采用, 因为开关闭合电流时在横担上产生的电动力是按 $F = K \cdot (i)^2$ 的比例增涨的。可以想象, 如果在短路电流为10千安和30千安二种情况下, 30千安产生的电动力将为10千安的9倍, 而在这种情况下增加触头接触行程, 显然将使合闸所作的功大大增加, 亦即给合闸工作构成了不利条件。

富士A级开关提高分闸速度的措施, 就采用了这种方法, 将触头端部作了修改(图2-11), 增加了接触行程10公厘(原触头接触行程为20公厘)。根据触头分离瞬时速度试验, 瞬时速度提高了1/5倍。

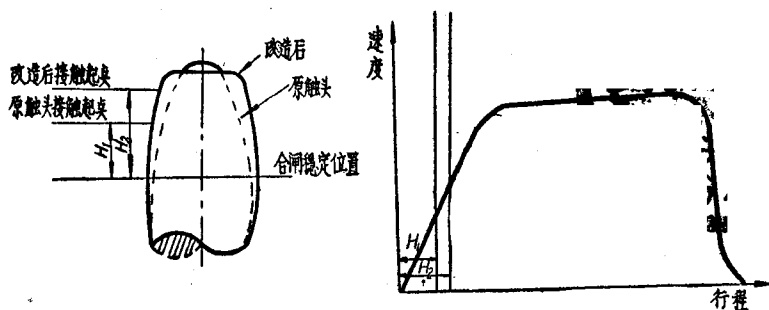


图 2-11

降低摩擦力 这里主要是指油阻力的降低问题。在富士开关改造中, 虽然B级开关附带地减少了一些油的阻力, 但是并没有针对降低油阻力作一些实践的探讨。应该说明, 降低油阻力也是提高分闸速度的一个方面, 所以在这里也简要地介绍降低油阻力的一些主要途径。

油阻力的特性公式是:

$$F_T = av^2 = K \beta C_w \rho S v^2$$

式中 ρ ——油的密度;

β ——决定横担截面形状系数;