

陕西省电机工程学会

論文选集

(內部資料)

陕西省电机工程学会編輯

1963

前 言

陕西省电机工程学会是1963年正式成立的。几年来，在党的正确领导下，陕西地区的电机科学工作者在进行科学研究，开展学术活动等方面做了不少工作，取得一定成绩，对促进科学技术的发展和社会主义建设事业起了积极的作用。为了总结科研成果，与其它地区的电机科学工作者交流经验，互相学习，共同提高，进一步推动学术活动持续深入的开展。我会决定将1963年首届年会和各专业组在学术活动中提出的一部份论文汇编成册，供同志们参考。由于我们对编辑工作尚无经验，加之时间仓促，作者和编者水平有限，缺点错误一定不少，希请会员和读者们批评指正。

在编印论文选集的过程中，陕西省科学技术协会给予多方面的指导和帮助，谨此致谢。

陕西省电机工程学会

一九六三年十二月

目 录

前 言

1. 35~220 千伏屋外配电装置間隙距离 A 、 B 、 C 、 D 值研究	張平安、弋东方	1
2. 35~220 千伏屋外配电装置軟导綫短路搖摆計算	張平安、弋东方	23
3. 导綫力学精確計算方法的探討		
——利用悬鏈綫平均应力計算彈性变形	連家驊	39
4. 西安地区接地試驗分析	赵 敏	47
5. 3~10 千伏保护旋轉电机用閘式避雷器的一些結構問題的探討	汪仁根	58
6. 利用通道相位差动保护中相位比較元件的构成方法	葛耀中	63
7. 簡易低阻抗繼电器	徐志綱	77
8. 平板式热双金属电器的温升特性的計算	方鴻发	86
9. 发电机不平衡負荷保护装置研究报告	許祖培	97
10. 电容套管 $\tan \delta$ 測試方法的研究	蔡国材、赵明魁	115
11. 极低轉速磁阻式单相同步电动机的性能分析	汪國梁	126
12. 用短路和分亨器代替高压断路器的簡化主結綫在水电站的应用	尹克宁	135
13. 400 千伏直流高压发生器的装置和測量	唐昭华、伍曉清、曾达人	142
14. 电抗器电动力計算的若干問題	易启基	150
15. 过渡状态恢复电压的模拟 ——兩参数法和四参数法	叶德隆	162
16. 确定电力系统备用容量的方法	姜衍智	168

35—220 千伏屋外配电装置間隙距离 A、B、C、D值研究

張 平 安 戈 东 方

(水利电力部西北电力設計院)

前 言

由于报告問題牽涉面广及我院水平、人力、時間的限制，本报告仅具有初步探討性質，虽經院內各有关专业人員討論，并提供意見，但錯誤仍在所难免，希予批評指正。

本报告研究的范围是：

- 一、电压为 35、110 千伏、(220 千伏)。
- 二、配电装置海拔高度在 1,000 米以下。
- 三、配电装置处于非污秽地区。
- 四、正常的气象条件。

本报告編制过程中，承东北电力設計院、北京电力設計院提供宝貴意見，一机部高压电瓷研究所、一机部高压电器研究所提供資料和意見，西安交通大学高压教研組給予指教，特致謝意。

第一节：A、B、C、D 值的定义

仅供作最小允許間隙例証的配电装置图和出綫門型构架部份的平面图如图 1 所示。

一、A 值的定义：

A 值是屋外配电装置布置各种間隔距离中的基本带电距离。下列情况不应小于 A 值的要求：(文献 1)

(一)不同相导体之間(带电边缘)的最小距离。如图 2-(5)。

(二)带电部份(边缘)至接地部份間的最小距离。如图 2-(5)。

(三)带电部份至圍栏(包括遮栏和柵栏)上面，但其高度为 2.7 米以下时，带电部份至圍栏的水平距离，如图 2-(2)，带电部份在圍栏上面但其高度为 2.7 米以上时带电部份至圍栏的垂直距离。如图 2-(2)。

(四)兩垂直布置的回路之导电部份未設遮栏，下面回路檢修上面回路不带电时的垂直最小距离。如图 2-(4)。

(五)兩水平布置的回路之导电部份，未設遮栏，兩回路同时进行停电檢修时的回路間最小水平距离。如图 2-(1)。

(六)在未設遮栏时隔离开关断开位置刀片对地部份距离如图 2-(3)。

二、 B 值的定义:

下列情况应不小于 B 值的要求:

(一)设备的导电部份或从设备的任何未接地部份至回定的栅栏或围墙的距离。如图 2-(2)。

(二)可移动设备(运输)与无遮栏导电部份间距离。如图 2-(6)。

(三)不同回路之导体未设遮栏时的垂直距离(上面回路带电,下面回路进行检修维护)。如图 2-(4)。

(四)未设遮栏时隔离开关断开位置刀片至载流部份距离。如图 2-(3)。

三、 C 值的定义:

无遮栏的裸导体距地面的高度不应小于 C 值的要求,如图 2-(7) 及图 2-(8)。

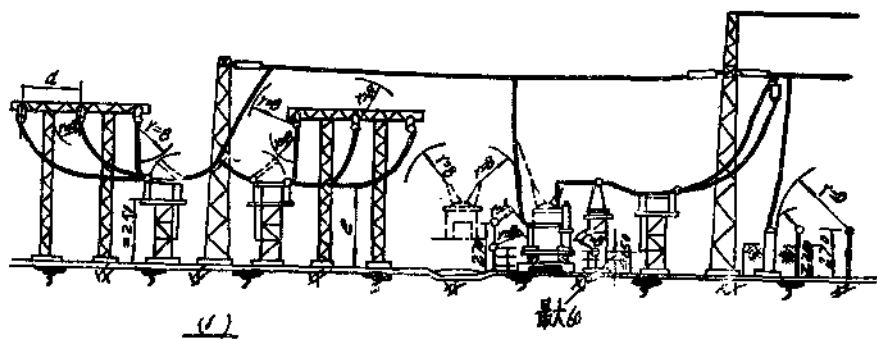
四、 D 值的定义:

下列情况不应小于 D 值的要求:

(一)不同回路之导体未设遮栏时的水平距离(一回带电一回进行检修维护)。如图 2-(1) 及图 2-(4)。

(二)导电部份与外围墙顶部间的距离。如图 2-(9)。

(三)导电部份至屋内配电装置的房屋,操作盘室和变压器房屋间的水平距离。如图 2-(7)。



图一 屋外配电装置的最小允许距离

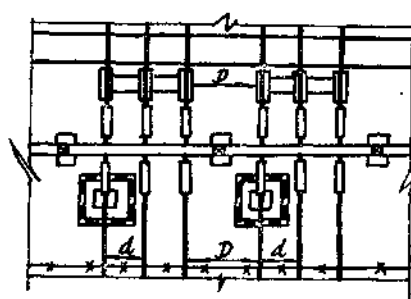
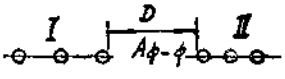
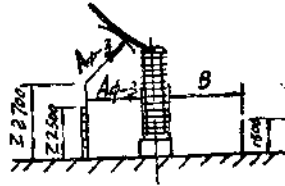
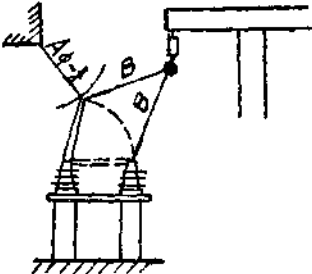
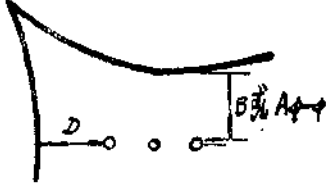


图 1

(1) 不同回路之导电部分未设遮栏时的水平距离 两回路同时停电检修时用 $A\phi\phi$ 需要一回路带电另一回路进行检修时用 D	
(2) 设备的导电部分及设备的未接地部分与内遮栏之间的距离	
(3) 在未设遮栏时隔离开关断开位置刀片对载流导体垂直距离 (B) 和对地距离 ($A\phi\phi$)	
(4) 不同回路之导电部分在布置高度不同时的水平距离 (D) 及垂直距离 下面回路检修上面回路不带电时用 $A\phi\phi$ 带电时用 B	

图二 各种带电距离的例图

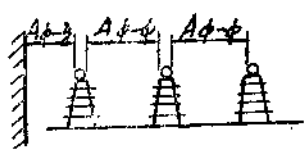
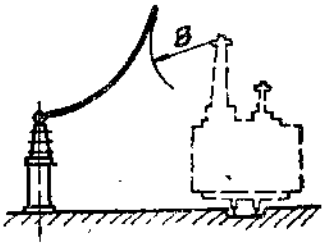
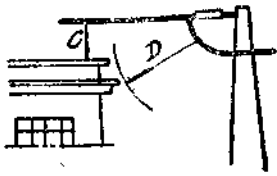
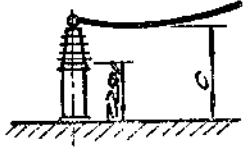
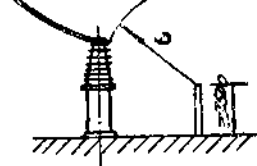
(5) 使用硬母线时各相导电部分 间及其接地部分间的最小距 离(净空)	
(6) 从无遮栏的导电部分至被它 输设备外壳间的最小距离	
(7) 导电部份与建筑物之间的 水平距离D和垂直距离C	
(8) 未设遮栏时高压设备绝缘 子绝缘及导电部分距地面 的最小距离	
(9) 导电部分与围墙顶部间 之距离	

图 2

第二节 A 值的确定

一、空气间隙的绝缘特性:

如前所述, A 值系指不同相的带电导体间、设备及导体的带电部分至接地部份间最小允许的空气间隙。

空气间隙在耐受不同型式电压时, 具有不同的电气强度。电压大体可分为:

(一) 大气过电压。一般作用时间在几十微秒以内。

(二)内部过电压。从作用时间(0.001~0.1)秒的操作过电压到作用时间达0.5~1.0秒的动态过电压。

(三)长期运行电压。作用时间为几十年。

一般地说,对于220千伏以下的配电装置,大气过电压起主要作用。

空气间隙在冲击波作用下,当予放电时间较短时,绝缘强度迅速增大,即冲击系数增大。但在长间隙(一米以上),据苏联直流研究所(НИИПТ)研究结果,内过电压作用时间取0.01秒,其电气强度比工频值并不增大,即冲击系数 $\beta=1$ 。

空气间隙的干放电及湿放电电压实际上近于相同。

在工作频率下和在冲击波下,空气间隙的放电电压视电极和波的极性而言。在棒—板间隙中,棒为正极性时,平均击穿电场强度大约只有7.5千伏/厘米,而棒为负极性时,击穿电压却大的多,平均击穿强度达20千伏/厘米。即在同样的距离下,负极性的棒间隙需要有更高的电压才能击穿。

具有极端不对称电场的棒—板间隙的击穿电压和棒—棒间隙的击穿电压有所差别。电极形状不同,影响着电极间电场分布的均匀程度,均匀的电场将有较高的放电电压,这对于工频电压来说,显得更为突出。间隙愈长,差别愈甚。在配电装置中,导线之间,导线与杆塔之间以及其他带电部份对接地部份之间的放电电压可认为是棒—棒和棒—板两种对称和不对称电极间的放电电压的范围内。美国在实验室的研究结果表明,由于变电站中电场实际分布的影响,其放电电压将比棒—棒间隙的放电电压低12%左右。

空气间隙在工频电压及冲击波作用下的放电特性,各国都作了很多试验,我国沈阳变压器厂变压器研究室在1959年亦做了放电试验,试验结果表明,与苏联、美国所得出的结果相近(文献28)。

在各国的试验中,其中最完善的应属全苏电工研究所(ВЭИ)和НИИПТ的试验。在棒—棒的情况下,最大距离做到4米;在棒—板时达9米。放电电压的数值是取20次试验的平均值。他们并且将所得结果与美国的试验数据相比较,二者基本上是相符的(文献29)。

我们选择A值所使用的曲线为ВЭИ和НИИПТ的试验结果,如图3和图4所示。

二、根据大气过电压决定基本带电距离(A')

(一)用避雷器残压决定A';

1. 相对地的距离 $A'_{\phi-3}$;

相对地的距离 $A'_{\phi-3}$,应当具有和配电装置相当的冲击绝缘水平,应当受到大气过电压的主要保护设备——阀型避雷器的保护,亦即该间隙的击穿电压应由避雷器的保护水平(一般为避雷器的残压)来确定。

苏联用来选择相对地间隙的公式如下:(文献2)

$$U_{\text{冲}} = \frac{1.1 \times U_{\text{残} \cdot 5\text{KA}} + 15}{K} \quad (1)$$

式中: $U_{\text{冲}}$ ——计算的冲击试验电压(千伏,最大)。

$U_{\text{残} \cdot 5\text{KA}}$ ——相当于该极电压避雷器,在通过5千安冲击电流时的残压。

K ——考虑海拔高度的系数,(主要为气压和湿度对绝缘的影响)本文海拔取1000米以下, K 值取0.84。

1.1——考虑到实际雷电流陡度可能比实验时严重及设备到避雷器有一定距离的影响系数。

15——裕度。

苏联设计 400 千伏变电所时, 根据 (1) 式求得之 $U_{\text{冲}}$ 在查得放电间隙之后为了安全又增加了 25% 裕度。

我们认为苏联在 400 千伏变电所设计中因为没有实际运行经验而采用了较大的安全裕度是适当的。但对于 220 千伏以下的配电装置, 在已经有了相当丰富的运行经验的情况下仍然沿用 25% 的数字似乎过大。

我们建议在利用 $U_{\text{冲}}$ 查上节推荐的空气间隙冲击试验电压曲线所求得间隙取整数后即可作为推荐值。

据公式 (1) 计算的 $U_{\text{冲}}$ 及依其查上节曲线 [全苏电工研究所 (ВЭИ) 采用的冲击试验电压与间隙距离的关系曲线 (文献 2)] 所得之 $A'_{\phi-3}$ 值如表一。

按我国目前的设备及避雷器制造水平计算中采用了过电压保护规程 (文献 3) 所介绍的数据, 此时, 避雷器的残压是按照流经避雷器电流为 3 千安而决定的。据 2377 个避雷器年的 15099 次的测定结果可知, 通过阀型避雷器的雷电流为 3 千安的或然率还是不大的, 大约 25~30 年一次 (文献 4), 这说明采用 $U_{\text{残} \cdot 3 \text{AK}}$ 计算 $U_{\text{冲}}$ 是合适的。(一机部高压电瓷研究所计划 64 年实施的国产阀型避雷器技术数据中已列入当雷电流为 5KA 时之避雷器残压数据, 待有关部门批准后即可应用)

2. 相对相的距离 $A'_{\phi-\phi}$:

苏联在设计 400/500 千伏变电所时, 对于两相邻回路母线, 除考虑由大气过电压所决定的冲击保证值之外, 还考虑了同时在另一相上出现反极性的最大工作电压。我国在设计 330 千伏变电所时, 也采用了这一计算原则。即:

$$U'_{\text{冲}} = U_{\text{冲}} + \frac{\sqrt{2} U_{\phi}}{K} \quad (2)$$

式中: U_{ϕ} ——最高运行相电压, (千伏有效值)

K —— $K=0.9$ 考虑运行中大气条件不同的系数。在海拔 1000 米以下时我们推荐 K 取 0.84。

对于 220 千伏以下的配电装置, 根据我国常用的各级电压典型布置, 35 千伏系统耦合系数最小为 0.24; 110 千伏系统耦合系数最小为 0.22; 220 千伏系统耦合系数最小为 0.17。经过考虑耦合影响, 并利用公式 (2) 进行的相间 $U_{\text{冲}}$ 计算如表一。

据此我们认为:

35~220 千伏系统利用上述方法求得之 $U_{\text{冲}}$ 查棒—棒间隙曲线 (上节推荐的对称电极曲线) 乘以 1.1 系数, 这是因为考虑到相间闪络将导致比相对地闪络更为严重的后果。

所求得之 $A'_{\phi-\phi}$ 值如表一。表中还附列了根据抚顺电瓷厂和西安电瓷厂近年来生产的磁吹避雷的技术条件求得之 $A'_{\phi-3}$ 和 $A'_{\phi-\phi}$ 值。

根据避雷器残压决定的 A' 值

表一

額定电压 (千伏)	35				60				110(直接接地系統)			
系統最高电压 (千伏)	40.5				69				126			
項 目	$U_{殘}$	$U_{冲}$	$A' \phi_{-3}$	$A' \phi_{-0}$	$U_{殘}$	$U_{冲}$	$A' \phi_{-3}$	$A' \phi_{-0}$	$U_{殘}$	$U_{冲}$	$A' \phi_{-3}$	$A' \phi_{-0}$
	千伏最大		厘 米		千伏最大		厘 米		千伏最大		厘 米	
PBC	130	188 (188)	34	35.2	221	308 (308)	58	63.8	324	443 (470)	86	93.5
MPB									274	369 (396)	70	79.2

額定电压 (千伏)	110(消弧綫間接地)				220				備 注			
系統最高电压 (千伏)	126				252							
項 目	$U_{殘}$	$U_{冲}$	$A' \phi_{-3}$	$A' \phi_{-0}$	$U_{殘}$	$U_{冲}$	$A' \phi_{-3}$	$A' \phi_{-0}$				
	千伏最大		厘 米		千伏最大		厘 米					
PBC	416	562 (676.3)	109	138.6	648	868 (963)	169	200				
MPB					545	730 (825)	142	170.5	文 献 5			

注：括弧內的数值为根据(2)式并考虑耦合后的計算結果。

(二)用其他方法选择 A' ：

由于所采用的保护设备的性能，气象条件，海拔高度和电力系统的情况不同，各国所采用的計算方法和标准亦各不相同。

本节所引用的一些方法和数据，主要是为和按(1)式所决定之 A' 值比較，以資参考。

美国在决定相对地 $A' \phi_{-3}$ 冲击試驗电压的公式如下(文献 2)

$$U_{冲} = K(U_{殘} + 40) \quad (\text{千伏} \cdot \text{最大值}) \quad (3)$$

式中： K ——($K=1.2$)系考虑了下列因素：(文献 6)

- a. 运行中的雷电流波形可能比实验时所用的波形严重；
- b. 避雷器残压的分散性；
- c. 积累效应；
- d. 被保护设备与避雷器有一定的距离。

根据(3)式查得間隙后，考虑到耐压及击穿の間隔及实际设备电场分布与实验之差别，又乘以 1.1 及 1.12 的系数。

在决定相对相的距离 $A' \phi_{-0}$ 时，其原則是：允許对地短路而不允許相間短路，因此相

間距离系按同一电压等級的絕緣子放电电压求得，后乘以 1.12 的系数。

1956年国际电工委员会 (IEC) 对額定电压 1~420 千伏交流设备的絕緣配合提出的建議草案中規定(文献 7)。

$$U_{\text{冲}} = 1.2 U_{\text{殘}}$$

式中：1.2——絕緣配合系数。

日本在 115~287 千伏系統中， $U_{\text{冲}}$ 計算公式和 IEC 公式相同唯絕緣配合系数在 1.24~1.28 範圍內(文献 7)。

上述的各种考虑方法和所得的結果，和由(1)式所决定的数值基本上是一致的。

变电所內各种设备(包括空气間隙)均受避雷器的保护，因此，他們的絕緣应当具有同样的水平。从这个观点出发，我們又据各方面的标准中所規定的試驗电压查間隙曲綫，与由(1)式所得值进行比较。

1. 进行的方法是：

- (1) 根据标准中的变压器冲击試驗电压查 BЭИ 棒—板間隙曲綫求得 $A'_{\phi-3}$ ；
- (2) 根据标准中的变压器冲击試驗电压查 BЭИ 棒—棒間隙曲綫后，乘以 1.1 的系数，求得 $A'_{\phi-\phi}$ 。

2. 采用的标准是：

- (1) 我国 59 年一机部批准的电工专业标准电 (D)-33-59 (草案試行)。見附件一。

全苏标准 ГOCT-1516-60 (見附件一)。該标准是在 20 年来的制造，运行經驗的基础上，对 ГOCT-1516-43 的修訂，第一机械工业部变压器研究所 62 年完全以 ГOCT-1516-60 为兰本，結合我国的电压等級划分情况和电力系统运行情况，提出了新的“变压器、高压电器、套管和絕緣子电气强度試驗标准及試驗方法” (草案，待批)，并推荐为电 (D)-33-59 的修定本。

和 (D)-33-59 比較，冲击試驗电压的数字基本相同。两种标准冲击絕緣水平均指耐受电压，該标准草案，一机部和水利电力部正在会审中。

(2) 国际电工委员会 (IEC) 1960 年推荐的絕緣配合标准。(見附件一)，所推荐的絕緣水平系指所能承受的电压，即为其冲击耐压水平。(文献 27)

3. 得到的 $A'_{\phi-3}$ 和 $A'_{\phi-\phi}$ 結果如表二所示。

根据設備試驗电压标准求得的 A' 值 表二

額定电压 (千伏)	35				60				110(直接接地系統)			
系統最高电压 (千伏)	40.5 (38)				69				125 (123)			
項 目	$U_{\text{殘}}$	$U_{\text{冲}}$	$A'_{\phi-3}$	$A'_{\phi-\phi}$	$U_{\text{殘}}$	$U_{\text{冲}}$	$A'_{\phi-3}$	$A'_{\phi-\phi}$	$U_{\text{殘}}$	$U_{\text{冲}}$	$A'_{\phi-3}$	$A'_{\phi-\phi}$
	千伏最大		厘	米	千伏最大		厘	米	千伏最大		厘	米
国家标准 (D-33-59)		185	32	34		310	58	60.5		460	88	93
国际电工委员会 标 (IEC-1960)		200	36	36.3						450	86	94.6

額定电压 (千伏)	110(消弧綫間接地)				220				备 注
系統最高电压 (千伏)	126 (123)				252 (245)				
項 目	U _殘	U _冲	A'φ ₋₃	A'φ _{-φ}	U _殘	U _冲	A'φ ₋₃	A'φ _{-φ}	
	千伏最大		厘 米		千伏最大		厘 米		
国家标准 (D—33—59)						900	175	208	
国际电工委员会 标 准 (IEC—1960)		550	106	136.5		900	175	208	

注：最高电压栏内有括号者为 IEC-1960 中之系統最高电压。

三、根据内部过电压决定基本带电距离(A'')：

根据内部过电压决定的基本带电距离 A'' ，在校驗变电所的相对地和相对相的距离时，由于实际采用的气象条件和大气过电压时采用的气象条件不同，并且考虑到短路时，电磁力对导綫搖摆角的影响等因素，有时 A'' 也会起着控制作用。

(一)相对地的 $A''_{\phi-2}$ ：

苏联过去在决定工頻試驗电压时，都是根据内部过电压的倍数来进行的，唯所考虑之系数有所不同，这方面，苏联直流研究所(НИИПТ)在 59 年研究的结果，具有相当的可靠性(文献 8)。他們提出在选择相对地的空气絕緣时的計算电压为：

$$U_{工} = \frac{\sqrt{2} \cdot K \cdot U_{\pi}}{\sqrt{3} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 0.9 \cdot \beta} \text{ (千伏} \cdot \text{最大值)} \quad (4)$$

式中： U_{π} ——最高运行綫电压(千伏·有效值)

K ——过电压倍数

0.9——平均放电电压与耐受电压的比值。

$K_1 \cdot K_2$ ——考虑海拔高度对气压和湿度影响的系数，对 1000 米， $K_1 \cdot K_2 = 0.84$

β ——内部过电压下的冲击系数，根据直流研究所的研究结果，长間隙 $\beta = 1$ ；35~220 千伏的短間隙，取 $\beta = 1.1$ 。

对于变电所，尚再增加 5% 的裕度，因此，可簡化为：

$$U_{\pi} = 1.06K \cdot U_{\pi} \text{ (千伏最大)} \quad (5)$$

1959 年 11 月水利电力部在北京召开絕緣配合座谈会时，所确定的計算工頻試驗电压的公式，基本上和上述公式相同(文献 7)。

据公式(5)計算的 $U_{工}$ 及依其查 B9II 采用的工頻放电电压与間隙距离的关系曲綫(文献 7)所得之 $A''_{\phi-3}$ 值如表三。

計算中，过电压倍数 K ，对 35~60 千伏及中性点不直接接地的 110 千伏系統，取 $K = 4$ ；对 110~220 千伏中性点直接接地的系統，取 $K = 3$ (文献 3)，苏联对于 35 千伏~220 千伏相对地过电压倍数 K ，63 年作了新的規定，其数值为：

35 千伏(非直接接地系統) $K = 3.8$

110 千伏(直接接地系統) $K=3.2$

154~220 千伏(直接接地系統) $K=3$ (文献30)。

(二)相对相的間隙 $A''_{\phi-\phi}$:

由于过去对相間内过电压的研究不多,因而,对于如何以内部过电压来選擇相对相的間隙,各个国家之間,甚至一个国家的各个部門之間尚存在着很大的分歧。爭論的焦点在于如何选用相間过电压倍数。

1. 苏联过去的一些做法:

1958 年苏联火电設計院在設計 330 和 400 千伏变电所时,按一相对地有 KU_{ϕ} 过电压,另一相出現反极性工作电压考虑,公式为:(文献 2)

$$U_{\pm} = (K+1) \cdot 1.21 \cdot U_{\phi} (\text{千伏} \cdot \text{有效值}) \quad (6)$$

式中: K ——过电压倍数。

U_{ϕ} ——最大工作相电压

1959 年 НИИПТ 提出在選擇相間的空气絕緣时計算电压的公式为:(文献 8)

$$U_{\pm} = 1.83 K U_{\phi} (\text{千伏} \cdot \text{最大值}) \quad (7)$$

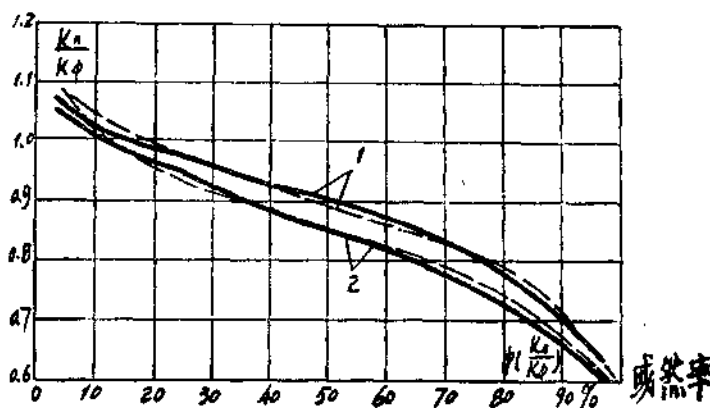
式中: K ——过电压倍数

U_{ϕ} ——最大工作綫电压;(千伏·有效值)

1961 年苏联直流研究所 Л.Е.АРТЛМБЛВ 及 С.С.ИЛЪВ 在 400 千伏 伏尔加水电站——莫斯科綫路上进行了实测,并在拉脫維亞的 110 千伏电网和列宁格勒 35 千伏 330~500 千伏系統作模拟試驗,据 124 个試驗数据繪成相間过电压与相对地过电压倍数分布曲綫如图 5。并得出結論为:在 330 和 500 千伏电网中,相間絕緣(包括三相变压器及变电所),应按綫間过电压倍数(对綫电压之比)与相对地过电压倍数(对相电压之比)相同来選擇,或即取

$$K_{\pm} = \sqrt{3} K_{\phi}$$

此时,相間閃絡的或然率将略低于相对地閃絡的或然率。(文献 9)。



图五,相間过电压与相对地过电压倍数

关系曲綫

—— 綫路末端

----- 供电系统的母线上

1, — 冲击係数 $K_y \geq 1.4$

2, — $K_y \geq 1.6$

同年，苏联火电设计院认为：220 千伏及以下变电所的相间距离与相对地距离相同。由于对称电极工频强度比相对地高 20% 左右，运行经验证明完全保证了三相变压器及其他设备的安全运行，从未观察到相间短路。在设计 330 和 400~500 千伏输电系统时，采用 $A_{\phi-\phi}$ 比 $A_{\phi-\text{地}}$ 大 10% 的差额，此外并考虑相间间隙的工频强度比相对地高 35% 以上，这就保证了相间绝缘比相对地间有 45% 左右的裕度。总之，他们引用了实际运行经验及其他各国的标准和经验，认为直流研究所测得的数字是偏高的。（文献10）

1962 年，ВНИИЭ 及 НИИПТ 对中性点接地的 110~220 千伏内过电压及相间过电压进行了广泛的研究，研究结果指出：相间过电压与相对地过电压之比，随相对地过电压的绝对倍数增加而减少，对于绝缘危险的过电压 ($K_{\phi-\text{地}}$ 大于 2.4)，相间的过电压或然率在 10% 情况下，只为相对地过电压倍数的 0.8。见图 6 之曲线（文献 11）。该文献接着指出：在设计中，当内过电压倍数大于 2.4 时，实际上相对相及相对地采用同样的距离，能保证必要的绝缘配合。这是由于相间均匀间隙比相对地不均匀间隙有较大的放电电压。

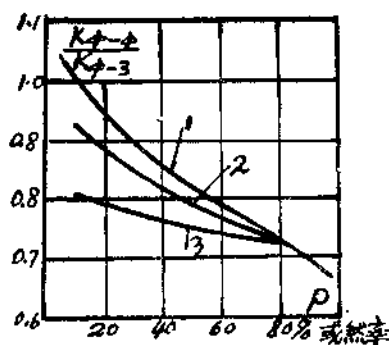


图 6 相间过电压与相对地过电压倍数的关系曲线

- 1—相对地过电压倍数 $K_{\phi-\text{地}} \geq 1.8$
- 2—相对地过电压倍数 $K_{\phi-\text{地}} \geq 2.0$
- 3—相对地过电压倍数 $K_{\phi-\text{地}} \geq 2.4$

2. 美国及其他国家的作法：

在美国的设计实践中，由于相间过电压缺乏实测数据，他们是按“直观的和合理的观念”来估计的。他们认为：相间过电压在考虑另一相出现反极性工频电压时，最大为 $4.5U_{\phi}$ 。而实际多采用 $4U_{\phi}$ 。（相对地的过电压取 $2.75U_{\phi}$ ）。在计算中，并采用电极形状校正系数 1.12（文献 7）。

澳大利亚的作法实际上是沿用美国的做法，他们所得到的 $A''_{\phi-\phi}$ 比 $A''_{\phi-\text{地}}$ 大 1.31 倍（文献 12）。

3. 我国的作法：

我国 61 年在设计 330 千伏变电所时，考虑了直流研究所的研究意见，火电设计院实践经验及苏联对这一问题的讨论情况，同时，也考虑了我国 220 千伏变电所运行经验，曾提出了两个相间过电压的计算方案：

方案 I：
$$U_{\text{工}} = \sqrt{3} KU_{\phi} \text{ (千伏} \cdot \text{有效值)}$$

方案 II：
$$U_{\text{工}} = 1.6 KU_{\phi} \text{ (千伏} \cdot \text{有效值)}$$

并进行了比较计算，经各方面讨论，为保证安全采用了第一方案（文献 7）。

4. 本文采用的方法：

我们认为，对于 35~220 千伏系统中，应当特别对苏联 ВНИИЭ 及 НИИПТ 在 62 年的研究成果给以重视。所以，我们采用下式进行计算：

$$U_{\text{工}} = 1.4 KU_{\phi} \text{ (千伏} \cdot \text{有效值)} = 1.14 KU_{\text{н}} \text{ (千伏} \cdot \text{最大值)} \quad (8)$$

这是因为：

(1) 系統电压較低，过电压倍数較高，它們大于 2.4 倍相电压，从图 6 中可以看出，則相間过电压將更低。

(2) 35~220 千伏，我国有长期运行經驗。

(3) 由于对称电极的电場分布均匀，比相对地的工頻强度高，即使采用同样的間隙，仍有一定裕度。此裕度随电压的增高而增大。利用(8)式求得之 $A''_{\phi-\phi}$ 如表三所示。表中还附列了 AIEE 及 P.L. Bellaschi 的数据，以資参考。(文献 7)

从表中看出，220 千伏的 $A''_{\phi-\phi}$ 比 $A''_{\phi-3}$ 虽小，但其放电电压仍較非对称电极有 10~15% 的裕度。

必須說明，鉴于内部过电压的复杂性，目前精确地确定 $A''_{\phi-3}$ 和 $A''_{\phi-\phi}$ 值尚缺乏充分的試驗資料和理論根据，例如：系統容量、网络結綫、运行方式对过电压倍数的影响，变电所和綫路过电压倍数的差别，以及空气間隙在内部过电压波形的作用下，冲击系数 β 的数值等等。所以，我們所介紹和推荐的 $A''_{\phi-3}$ 和 $A''_{\phi-\phi}$ 只能是初步的，我們认为在沒有充分試驗数据来验证决定 $A''_{\phi-3}$ 和 $A''_{\phi-\phi}$ 值的正确性时应当重視現有运行經驗，因此在校核变电所架构对地距离时采用部頒过电压保护規程中之 $A''_{\phi-3}$ 和 $A''_{\phi-\phi}$ 也是适当的。

由内部过电压所决定的 A'' 值

表三

額定电压(千伏)		35				60				110(直接接地)			
系統最高电压 (千伏)		40.5				69				126			
項 目	相对地	相对相	$A''_{\phi-3}$	$A''_{\phi-\phi}$	相对地	相对相	$A''_{\phi-3}$	$A''_{\phi-\phi}$	相对地	相对相	$A''_{\phi-3}$	$A''_{\phi-\phi}$	
	$U_{工}$	$U_{工}$			$U_{工}$	$U_{工}$			$U_{工}$	$U_{工}$			
	千伏 最大	千伏 最大	厘	米	千伏 最大	千伏 最大	厘	米	千伏 最大	千伏 最大	厘	米	
計算数据		174	184	31.5	32	293	314	56	58	402	432	78	80
AIEE 数据													
P.L Bellaschi													

額定电压(千伏)		110(消弧綫圈接地)				220				备 注							
系統最高电压 (千伏)		126				252											
項 目	相对地	相对相	$A''_{\phi-3}$	$A'_{\phi-\phi}$	相对地	相对相	$A''_{\phi-3}$	$A''_{\phi-\phi}$									
	$U_{工}$	$U_{工}$			$U_{工}$	$U_{工}$											
	千伏 最大	千伏 最大	厘	米	千伏 最大	千伏 最大	厘	米									
計算数据		536	575	107.5	102	800	864	166	151								
AIEE 数据								165~180	203~226								
P.L Bellaschi								170	234								

四、 A 值的推荐和小結:

从二、三兩节的計算分析結果提出了基本带电距离 A 的推荐值如表四所示, 同时在表中又收集了部頒規程, 苏联火电設計院等七种标准以資对比。

(一)推荐值中除包括 220 千伏部份供討論参考外考虑到我国东北地区 尚有 60 千伏系統以及部頒規程中也有 60 千伏电压級我們对该級电压的 A 值也作了推荐。又考虑到四川地区有 110 千伏中性点經消弧綫圈接地系統, 东北和华北地区也有可能出現这种电力系统, 我們对这种接地系統的 110 千伏电压級 A 值也作了推荐。

(二)計算結果表明在 220 千伏以下变电所中基本带电距离 A 值(相对相和相对地)都决定于大气过电压, 而且各国决定 A 值的方法和結果也大体一致。

本文推荐及各国采用的 A 值

表四

額定电压 (千伏)	35		60		110 (直接接地)		110(消弧綫圈 接地)		220		备 注
系統最高电压 (千伏)	40.5		69		126		126		252		
項 目	$A_{\phi-s}$	$A_{\phi-\phi}$	$A_{\phi-s}$	$A_{\phi-\phi}$	$A_{\phi-s}$	$A_{\phi-\phi}$	$A_{\phi-s}$	$A_{\phi-\phi}$	$A_{\phi-s}$	$A_{\phi-\phi}$	
	厘	米	厘	米	厘	米	厘	米	厘	米	
本文推荐	38	40	60	65	90	100	115	140	180	200	
部頒規程	40	40	60	60	100	100			200	200	
苏联火电設計院	40	44			90	100			180	200	見文献15
国际电工委员会 (I.E.C)	32		(72.5) 63		92		115		196		見文献16
美 国 标 准 (AIEEE.54)	33	46	62	79	106	134			165	203	
日本标准			65	85							
英国标准	(33) 40.6	(33) 45.7	(66) 76.2	(66) 83.7	99	135	122	160	191	274	見文献17
加拿大标准			(69) 38	(69) 107	(138) 92	(138) 214			(230) 152	(230) 305	見文献18

注: 括弧內的数字为所取該国家的額定电压級数字, 单位为千伏。

(三)由于以下几点原因, 本文推荐的 A 值分 $A_{\phi-s}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 。

1. 計算結果表明 $A_{\phi-s}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 差別較大。
2. B, C, D 值都和 $A_{\phi-s}$ 有关全部采用 $A_{\phi-\phi}$ 值显然不够合理。

3. 世界各国 $A_{\phi-s}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 均分別列出, 我国部頒高压配电装置規程中 $A_{\phi-s}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 不分, 这主要是根据苏联五三年<<电气设备安装規程>>制訂的而 60 年苏联火电設計院也建議 $A_{\phi-s}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 分开。

4. 尤其是 110~220 千伏我国均为直接接地系统，有一定运行经验。

5. 另一建议 35 千伏多为非直接接地系统，间隙距离较小， A 可以合并。

(四)考虑到变电所中要按大气过电压，操作过电压及正常工作电压条件，校验母线，出线及引线等情况我们建议 A' ， A'' 和 A 值分别列出见表五。

同时我们也考虑了一些校验变电架构用的特殊 A 值：如 110 千伏出线门型架上按装避雷针，此时导体对地空气间隙应由雷电流流经门型构架所产生逆闪络电压来决定，经初步估算在保证门型架接地冲击电阻不大于 3 欧姆的情况下由逆闪电压所决定的 $A'_{\phi-3}$ 和表五中的 $A'_{\phi-3}$ 很接近，所以未作另外推荐，35 千伏系统一般系中性点非直接接地，满足较小的冲击接地电阻有困难，所以避雷针都不装在出线门型架上。

对于一些特殊运行方式下的 A 值，例如出线隔离开关打开时，隔离开关外侧一段母线间隙应和管型避雷器的冲击放电电压作配合，计算结果表明：

35 千伏 $A'_{\phi-\phi}$ 可取 50 厘米

$A'_{\phi-3}$ 可取 48 厘米

110 千伏 $A'_{\phi-\phi}$ 可取 110 厘米

$A'_{\phi-3}$ 可取 105 厘米

对于两相短路时的 A'' 值，应由两相短路时的操作过电压倍数决定，此时的 A'' 值在校验变电所相间距离有很大参考价值。但在缺乏两相短路时，操作过电压倍数的理论分析和实测值的情况下，采用本文据最大操作过电倍数所推荐的 A'' 值，将是属于安全的。

本文推荐的 A 值汇总表

表五

额定电压(千伏)	35		60		110 (直接接地)		110(消弧线圈 接地)		220		备 注
系统最高电压 (千伏)	40.5		69		126		126		252		
项 目	A _{φ-3}	A _{φ-φ}	A _{φ-3}	A _{φ-φ}	A _{φ-3}	A _{φ-φ}	A _{φ-3}	A _{φ-φ}	A _{φ-3}	A _{φ-φ}	
	厘	米	厘	米	厘	米	厘	米	厘	米	
按大气过电压(A')	39	40	60	65	90	100	115	140	180	200	
按操作过电压(A'')	34	36	58	60	78	80	115	110	170	170	
按最大允许工作电压 (A 额定)	10	10	15	15	25	25	30	30	55	55	

注：1. 操作过电压 A 值系按表三取整数推荐，其中 110 千伏(消弧线圈接地)及 220 千伏 $A_{\phi-3}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 取相同值。

2. 最大工作电压 A 值中考虑系统最大允许工作电压比额定电压大 10%，查出间隙后留一定裕度。

(五)在 A 值推荐值中均根据计算数据取整数，在取数中考虑了如下因素：

1. 35 千伏部份因空气间隙较小应留有较大裕度，推荐值较计算值增加 4~5 厘米，如果 $A_{\phi-3}$ 和 $A_{\phi-\phi}$ 合并则推荐采用 $A_{\phi-\phi}$ 数值。

2. 60 千伏部份根据计算和参照世界各国情况，推荐数值和我国现行规程相比略大。

3. 110~220 千伏部份基本忠实于计算数据。其结果和苏联火电设计院推荐值完全一致。