

文
先
集

陕西省电机工程学会

論文選集

第一集

(内部資料)

陕西省科学技术协会印

1965年10月

目 录

1. 高压和超高压配电装置的结线与布置……………張 广、浦文宗 (1)
2. 330 千伏变电所的絕緣配合……………戈东方、張平安 (11)
3. 330 千伏隔离开关结构分析……………莫国中 (26)
4. 330 千伏空器断路器结构分析……………王东华 (34)
5. 新型高压断路器用非线性电阻的研究……………崔熏南、段庆成 (42)
6. 胶紙电容式套管游离特性的研究……………沈嘉祿、蔡国材、赵明魁 (47)
7. 高压下介质内部游离放电的測量……………徐果馨、周登科、王力法 (60)

高压和超高压配电装置的結綫与布置

西北電力設計院

張 廣 浦文宗

在党的正确领导下，我国电力工业已有了飞跃的发展。各地电力网已初步形成，水力资源逐渐开发。正由于这种情况，大量的高压和超高压变电所的设计正被提到日程上来。

研究高压和超高压配电装置的结线与布置，是进行我国高压和超高压变电所设计的一个重要部分。配电装置的结线与布置影响到变电所运行、投资和占地面积。研究高压和超高压配电装置的结线与布置，是为了建成我国自己的，社会主义性质的高压和超高压变电所。

下面就就高压和超高压配电装置的结线与布置(只限于屋外配电装置)，进行讨论。

高压和超高压配电装置的結綫

目前在高压配电装置(主要是指 35~220 千伏)中常用的结线大致可分为下列几种：

桥型结线(内桥和外桥)，

单母线分段，

单母线(分段或不分段)带旁路母线，

双母线单断路器，带旁路和不带旁路。

桥型结线，是比较简单的结线。由于它的断路器少，可靠性和灵活性都是较差的。这种结线在 35~110 千伏较小的配电装置中用得较多，在 220 千伏使用得较少。有时分期建设的 220 千伏配电装置，在初期容量较小，使用桥型结线，但最终仍过渡到其他种结线。

单母线分段结线和单母线带旁路母线结线，在高压配电装置中使用较多。单母线分段在母线发生事故或检修时比单母线带旁路影响小，因为只需一半配电装置停电即可。但在检修断路器时，都需将该回路停电，这是极大的缺点。单母线带旁路适合于检修断路器，任何回路的断路器进行检修均可用旁路断路器代替，因而不需停电。但如母线发生故障或进行检修，全部就要停电。

在高压配电装置中采用较多的结线是双母线单断路器系统，有的带旁路母线，有的不带。带旁路母线时，检修断路器方便而可以不停电。不带旁路母线时，对检修断路器较为困难。用母线联络断路器代替时，需搭接临时线。35~110 千伏配电装置除大型的外，一般都不用双母线带旁路结线系统，因为它的造价较高。220 千伏配电装置因为重要性高，一般都要求带旁路母线。

一般习惯对 220 千伏电压以上称为超高压。超高压配电装置的结线，对可靠性要求甚高。这是因为在超高压配电装置中，每回路的容量都很大，一发生事故就有很大的损失。

在超高压配电装置中一般所采用的结线大致有：

双母线单断路器带旁路母线(图 1-a)，

双母线双断路器(图 1-c)；
 双母线转换结线带旁路母线(图 1-d)；
 双母线 $1\frac{1}{2}$ 断路器(图 1-e)；
 环形母线(图 1-f)。

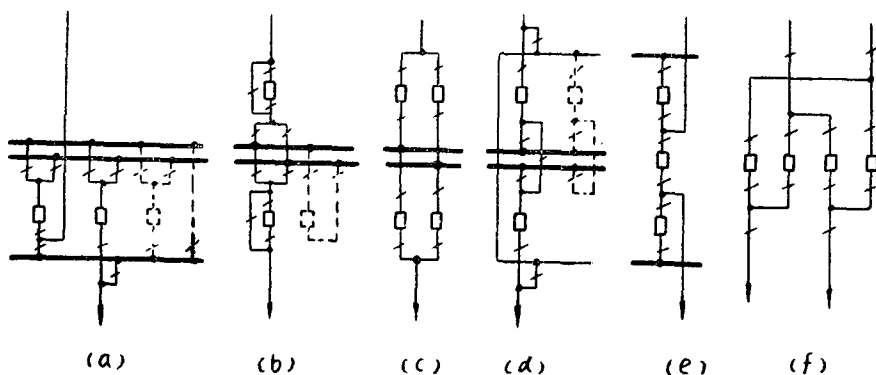


图 1 超高压配电装置中一般采用的电气结綫

双母线单断路器带旁路母线，是比较灵活而可靠的结线。它可以隔离任一组母线而不会中止供电，在系统需要的时候也可以分裂运行。任何一台断路器都可以在旁路断路器代替下进行检修，所以使用的较多。它的缺点是占地面积较大。因此有些国家加以简化，使用旁路隔离开关代替旁路母线(图 1-b)。用断路器旁路隔离开关是比用旁路母线较简单的解决断路器检修的方法。但其缺点是在使用旁路隔离开关时，必须进行许多操作，才能使母线联络断路器代用线路断路器。

双母线双断路器，是可靠性和灵活性都很高的结线，它可以使任何一台断路器，任何一组母线退出工作，都不会影响到供电。母线分裂运行也是可能的，但这是一种昂贵的结线方案，因为需要较多的断路器。为了节约断路器，有的国家加以简化，采用母线——变压器组结线，即在出线回路使用双断路器，而变压器回路只采用隔离开关与相应的母线直接连接。

双母线转换结线带旁路母线，是包括两个单母线系统和一个旁路系统，此外还有一个转换隔离开关。使用转换隔离开关可以不借助母线把两回路出线连在一起而对母线进行检修。使用转换隔离开关也可以减少母线隔离开关的数量，它提供了节省母线隔离开关的方法，每两回线使用三台隔离开关，比双母线单断路器结线省去一台。

双母线 $1\frac{1}{2}$ 断路器结线，即两回路中采用三台断路器，每回路占 $1\frac{1}{2}$ 断路器。 $1\frac{1}{2}$ 断路器方案在超高压配电装置中使用的很普遍，因为它与双母线双断路器结线具有相同的运行适应性，而比较经济，省了 25% 的断路器。正常运行时所有的母线都带电，所有的断路器都合上。但是任何母线或断路器都可以取下而不会中断供电，同时每个间隔可以相对方向出两回线，占地面积较少。在必要时，如果系统的稳定允许，两回出线可以通过中间的断路器连起来同时与母线脱离。这种可能性在某些时候是很需要的，例如需要系统与变电所脱离关系的时候。这种结线，在检修断路器时不要求断开回路，也不要求切换，这是极大的优点。缺点是在检修断路器时，其他断路器中流过的电流可能增加，因此在选择设备时应考虑裕

度。

环形母线，又称多角形结线，一般在回路较少的时候采用，大约在六回线路以下较为合适。这种结线是把母线闭合成环形而按回路数利用断路器分段，这就形成每一回路只具有一台断路器，因而比较经济。断路器可以抽出检修而不影响供电，因而可靠性能够保证。母线绝缘损坏只影响一回出线，因此适用于污秽地区，母线绝缘子清理也比较简单，因为可以和线路绝缘子同时进行。缺点是当环路打开时，同时回路再发生故障，可能引起故障回路以外的非故障回路跳闸。由于断路器需要轮流检修，每次检修都要把环打开，因此这种机会是很多的。如因系统需要，要求某回路停电，每次都必須把环打开，这样也很不方便。

高压和超高压配电装置的布置

1. 布置型式

高压和超高压配电装置的布置，到目前为止有三种基本型式，这三种基本型式是：高型布置，中型布置和低型布置。图2表示三种布置的一般情况。

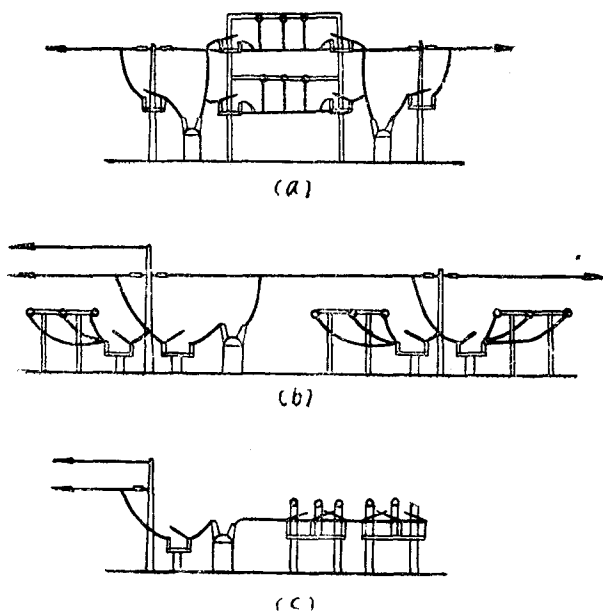


图2 高压和超高压配电装置三种布置型式的示意图

a—高型布置(双母线结线)；b—中型布置(双母线带旁路母线结线)；c—低型布置(双母线结线)。

高型布置双母线系统的母线构架为双层，隔离开关也在构架的上面装成双层。这种布置因为检修维护困难，同时可靠性也差，大都不愿采用。目前除去场地极受限制的地区，如水电站的升压配电装置有时使用外，不是普遍的发展方向。

中型布置是现在国内外绝大部分配电装置所采用的布置。此种布置较高型略低，设备都分散地布置在一个平面内，互不重叠，所以检修维护都比高型布置方便。这种布置由于比较成熟，同时使用的国家也多，故又称为经典布置。

经典布置的优点是设备布置清晰，设备间的距离较大，运行检修都比较方便，不容易误操

作。缺点就是占地面积较大，连接线较长，隔离开关和断路器都是三机械的连在一起，布置不灵活。

低型布置系使用单柱或双柱式隔离开关，导线直接设在隔离开关的绝缘子或单独的支持绝缘子上。导线很节省，占地很少，配电装置也较低。它的优点是很多的。

目前由于电压愈来愈高，配电装置占地面积愈来愈大，同时出现了各种新型的隔离开关，因此在中型布置和低型布置中，出现了很多新型的布置，现分别叙述如下：

a. 龙骨布置和馬車布置

这两种布置都采用双柱式隔离开关，隔离开关分相装设。其目的是压缩占地面积。

龙骨布置是将隔离开关平行于母线装设，可以布置成一排或二排或三排，视布置的需要而定，见图 3 (隔离开关排成三排的布置)。这种布置主要是压缩纵向尺寸。

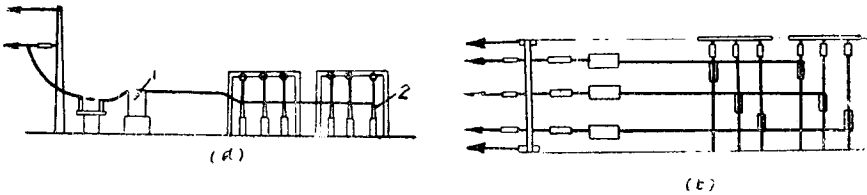


图 3 龙骨式布置 (双母线接线，母线用软线，引出线用硬线。引出线布置在母线下面。)

a—断面图； b—平面图。
1—断路器； 2—隔离开关。

馬車布置是将隔离开关垂直于母线装设，隔离开关也可以成为一排或二排或三排，见图 4 (隔离开关排成二排的布置)，这种布置主要是压缩横向尺寸。

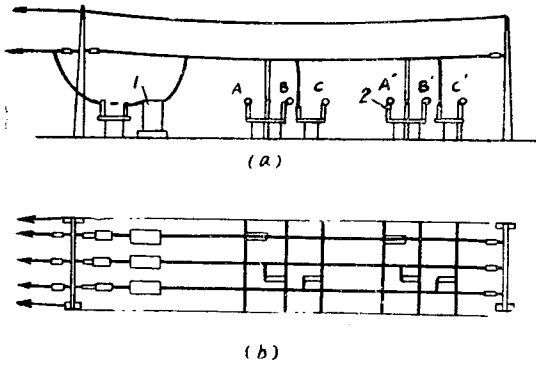


图 4 馬車式布置 (双母线接线，母线用硬线，引出线用软线。引出线布置在母线上。)

a—断面图； b—平面图。
1—断路器； 2—隔离开关。

这两种布置是比较常用的，隔离开关布置非常灵活，压缩占地面积效果也较好，母线可以使用软线，也可以使用硬线。

b. 母线混相布置

混相布置是把两组母线按相排列成三组，成为 A A B B C C。由于两组母线是混合起来的，故称为母线混相布置，见图 5。它的好处是使用双母线而能在一个间隔中面对面地引出

兩回线。由于每間隔可以出兩回线，占地面积大大节约。出线构架是分散成为三个拉线柱，体积也相应减小。

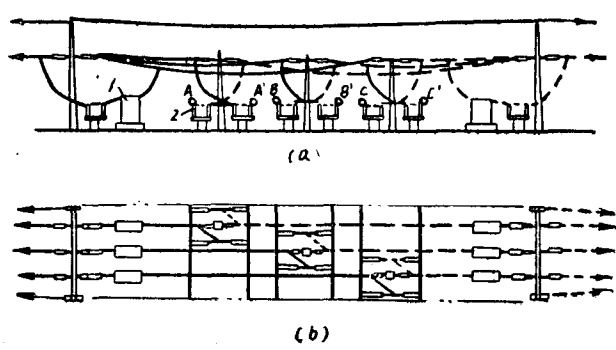


图 5 母綫混相布置面对面出綫(双母綫結綫)

a—断面图； b—平面图。

1—断路器； 2—隔离开关。

图 6 是母线混相間隔錯开的布置。在这种布置中，兩回出 线不是面对面而是互相錯开 $\frac{1}{3}$ 的間隔寬度。这种布置的好处是可以使用三组母线(如图 6，A''B''C'')。如果需要的話也可以使用任何数目的母线组，只要事先作出决定，予留地位。

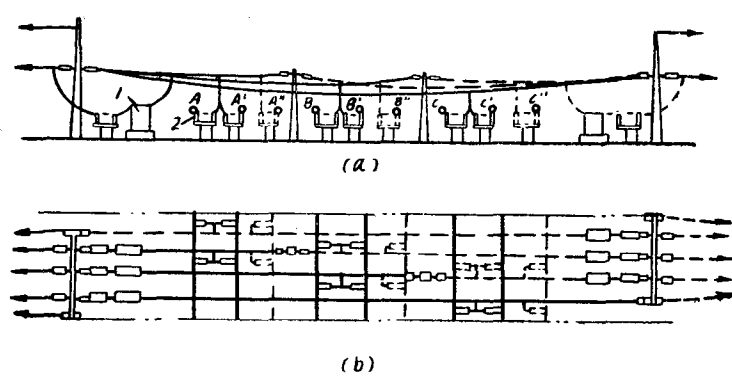


图 6 母綫混相布置錯开出綫(双母綫結綫)

a—断面图； b—平面图。

1—断路器； 2—隔离开关。

c. 母綫混相断路器分散布置

这种布置是把断路器也按相分散，安装在每相母线的下面。它可以进一步节省占 地 面 积，見图 7。不过在布置上較为混乱，概念不甚清楚，容易誤操作。然而，在节约方面是很有效的，除占地面积外，其余如构架、絕緣子串、导线长度等都比其他布置节省。

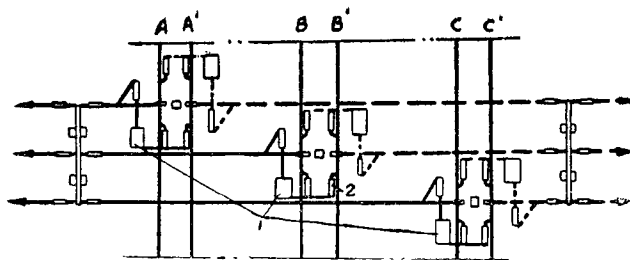


图7 断路器分散布置，母线混相，
平面示意图(双母线接线)。

1—断路器； 2 隔离开关。

母线混相断路器分散布置在使用旁路母线时，可以把旁路母线布置在母线的中间，这样使布置非常紧凑，这是断路器分散布置的另一大优点，其他布置都不能做到这一点，见图8。

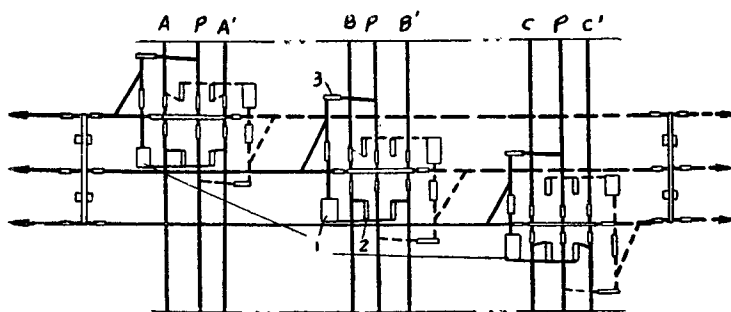


图8 母线混相断路器分散布置带旁路母线平
面示意图(双母线带旁路母线接线)。

1—断路器；2—母线隔离开关；3—旁路隔
离开关；p—旁路母线。

d. 栅格布置

把母线和引出线直接用隔离开关连接的布置叫作栅格布置。这种布置必须使用单柱式隔离开关(包括伸缩式和折迭式)，向上合闸，固定触头固定在上方的导线上。母线可以使用软线或硬线。母线可以放在引出线的上面，也可以放在引出线的下面，看布置的要求而定。见图9。

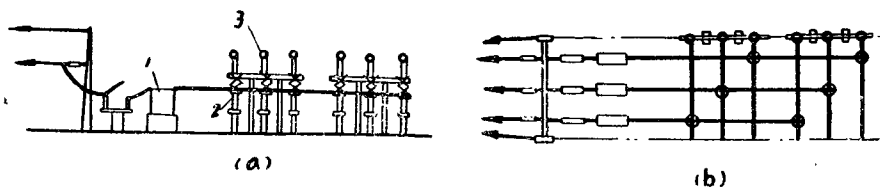


图9 栅格布置(双母线接线，母线不混相。)

a—断面图； b—平面图。
1—断路器； 2—单柱伸缩式隔离开关；
3—母线。

栅格布置的优点是取消了由上面导线到隔离开关的连接线，因而节省了导线。出线构架数量减少而只用一排。

e. 栅格混相布置

提出这种布置的动机是想结合栅格布置和混相布置的优点，如减少占地面积，缩短连接线等，但是结果每间隔的投资反而增加，因此效果不令人满意。栅格混相布置也可以布置成面对面出线 and 间隔错开出线，这里不再赘述。

f. 分相布置（母线混相）

这种布置的使用范围是有限的，在场地非常紧张的地方，同时还不允许相间绝缘发生故障的地方，例如在大城市中或在大工厂中，可以考虑使用，但必须使用电缆。它把每一相所包括的设备与另外两相的设备完全分开，不发生任何关系。相间不可能发生任何故障。

有两种布置形式，即三条检修道路布置和二条检修道路布置(中间一相反转)，见图10。

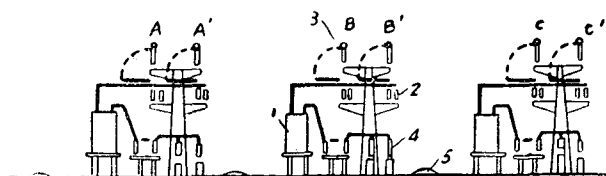


图 10 分相布置（双母线结线，有三条检修道路）断面图

- 1—断路器； 2—隔离开关；
3—母线； 4—出线电缆；
5—道路。

2. 新型布置经济比较及发展趋势

关于各种新型布置的经济比较，法国曾进行了全面的分析(CIGRE, 1962年, №156), 现把它列在下面。数据是根据双母线结线，四个回路作出，见表1和表2。

225 千伏配电装置经济比较

表 1

布 置 型 式 数 据 项 目 名 称	經 典	栅 格	混 相 面 对 面	混 相 錯 开	栅 格 混 相 錯 开
d	60	61.8	30	30	34.2
b_1	88.4	58.6	91.9	88.6	80
$s = b_1 \times d$	5300	3620	2755	2660	2740
混凝土 (米 ³)	270	330	225	206	250
铁构 (吨)	72	68	44.5	43.5	58
绝缘子串, (串)	24	36*	24	24	18*
支 架	24	20	0	0	20
导线长 (米)	1596	1248	652	700	816
管长 (米)	510	0	272	204	48
主要道路长 (米)	120	60	60	63.8	73.5
次要道路长 (米)	120	0	60	63.8	0

注：* 双串

d 为四回出线所占的宽度

b_1 为间隔的长度

s 为四回出线所占的面积

380 千伏配电装置经济比较

表 2

布 置 型 式 数 据 项目名称	經 典	混 相 錯 开	柵 格 混 相 錯 开	柵 格 混 相 面 对 面
d	50	50	54	66
b_1	156.6	139.6	121.4	139.4
$s = b_1 \times d$	7820	7000	6550	9200
混凝土 (米 ³)	345	330	425	750
铁构 (吨)	110	108	160	210
绝缘子串 (串)	48	48	30*	52*
支 架	0	0	20	12
导线长 (米)	1932	2024	1306	1730
管长 (米)	300**	300**	168	168
	216***	48***		
主要道路 (米)	100	106.3	114.8	122
次要道路 (米)	100	106.3	0	0

注：* 双串

** 母线用的管子

*** 横向外线用的管子

d 为四回出线所占的宽度

b_1 为间隔的长度

s 为四回出线所占的面积

由上面的比较表来看，混相布置(无论是错开或面对面，或是栅格)，是最经济的布置，它比经典布置在各方面都节省。

新型布置在欧洲发展得较快，特别是法国和西德，他们自 53 年开始试用至 61 年在新设计的配电装置中已有 85% 采用新型布置。

然而在其他国家中还未全面推广使用，在国际大电网会议 (CIGRE) 19 次会议 (1962 年) 讨论变电所时，英国代表对新型布置曾提出意见，他提出混相布置有四缺点：

(1) 母线上面的引出线如果断一根，则两组母线都不能运行。检修引出线时下面的母线带电也不安全。

(2) 布置复杂，不清晰，容易误操作，受过训练的人也可能操作错误。布置越简单越清晰越好。

(3) 设备分相后需要三套操作机构，操作后是不是都开合得很好，需有复杂的联锁和分相的指示信号。

(4) 在清理绝缘子时，两组母线都需停电。

而法国发言人说已有六、七年的运行经验。没有发生什么事故，也没有感到什么不方便。

便。这表示各国对新型布置的看法还有分歧。

3. 隔离开关与布置的关系

上面介绍的各种布置，其所以能够完成，完全是依靠各种不同的隔离开关。因此隔离开关在配电装置的布置中起着决定性的作用。

到目前为止，把各种类型的隔离开关归纳起来大约有下列几种，见图11。

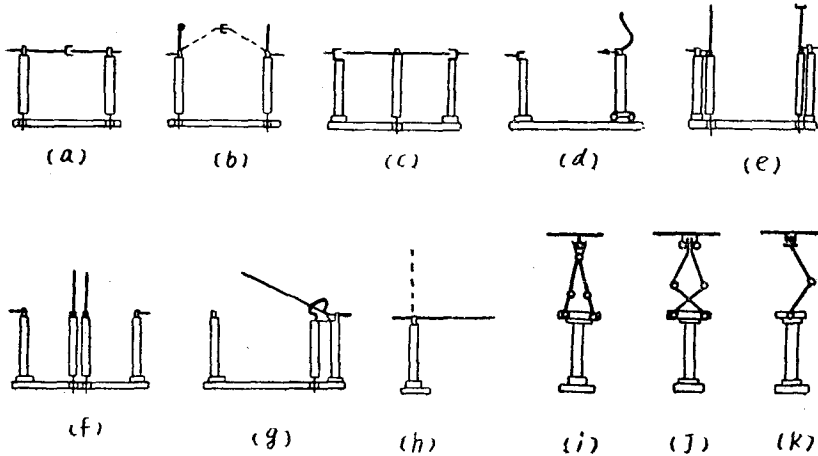


图 11 隔离开关的型式

为了节约配电装置面积，双柱式及伸缩式的隔离开关得到了发展，特别是伸缩式的隔离开关，如图 11-i、j、k，由于刀杆运动时占据的面积始终限制在一相刀杆与连接母线之间，同时刀杆与母线直接接触，因而取消了连接引下线，对节约配电装置的面积和导线更具有巨大的优点。

根据国内 59 年对 330 千伏配电装置的研究表明：具有一回出线和一回变压器进线的二个间隔（假定未带旁路母线），在使用双柱隔离开关作单列经典布置时，占地面积为 4020 平方米；而使用伸缩型隔离开关作栅格布置时，占地面积为 3220 平方米，少占地约 20%。

根据西德对 380/220 千伏双母线带旁路母线配电装置采用三柱隔离开关与伸缩型隔离开

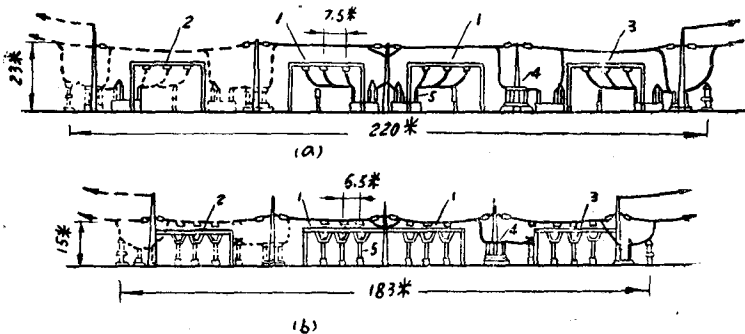


图 12 双母线带旁路母线的 380 千伏屋外配电装置断面图

a—使用三柱型隔离开关；b—使用单柱伸缩型隔离开关
1—主母线；2、3—旁路母线；4—断路器；
5—隔离开关。

关的比较,对采用三柱隔离开关的经典布置的配电装置,宽度为220米,而采用伸缩型隔离开关时,则宽度为183米,见图12。这样可节约占地面积大约为17% (假定间隔宽度相同,为24~28米)。

由图12的横断面可知,经典布置母线间的距离为7.5米,而用伸缩型隔离开关的母线距离只有6.5米。这是因为当采用伸缩型隔离开关时,母线固定在隔离开关的绝缘子支柱上,因此不会象使用三柱隔离开关那样能自由摆动。同样值得注意的是,三柱隔离开关的布置最高的门型架高度等于23米,而当采用伸缩型隔离开关时仅为15米。

結 束 語

我国电力工业不断在发展,大负荷点增加迅速,同时由于水力资源的开发,超高压长距离输电即将出现,因此对于超高压配电装置结线与布置即应展开研究。

过去我国在配电装置设计方面主要是学习苏联,但是现在看起来有许多地方受了它的束缚。所以我们必须实行革命化,根据我国具体条件与实践经验,创造出我们自己的配电装置的结线和布置,使它切实适合我国社会主义建设发展的需要。

本文只不过把高压和超高压配电装置已经使用的结线和布置加以讨论,只能作为展开这方面工作的参考。

参 考 文 献

1. 国内外变电所配电装置设计概况。东北电力设计院,技术情报总号63—50。
2. CIGRE。1962年, №156。
3. Л.И. Довоскин, Компоновки открытых распределительных устройств 330-500 кв За рубежом и в СССР。1961年。
4. Майнерс, Распределительные Устройства 380 кв и проблемы, возникающие при строительстве подстанций 380/220/110 кв. «Электропередачи Сверхвысокого Напряжения», P293—320, 1960年。
5. M. Müller, B. Stepiniki, Switchgear installations for extremely high voltage, Brown Boveri Rev. 1964, Vol.51, №1/2, P101—110。
6. 330千伏配电装置研究。北京电力设计院, 1959.9。

330 千伏变电所的絕緣配合

西北電力設計院

戈東方 張平安

一、絕緣配合的基本原則

1. 我國絕緣配合取得的基本經驗。

我國最高運行電壓為 220 千伏。從 110 千伏到 220 千伏中性點直接接地系統中，絕緣配合方面取得不少寶貴經驗。它們大致可歸結為以下幾點：

(1) 輸電線路的運行經驗指出：內部過電壓事故極為罕見，絕緣水平的選擇在很大程度上決定於防雷保護的綜合措施和運行工頻電壓下絕緣子的泄漏距離(λ)。在 $\lambda=1.16$ 厘米/千伏以下，正常工作電壓下的閃絡率隨 λ 的減少而急劇增大。按照現行計算辦法，空氣間隔和絕緣子比較，前者極少發生事故，裕度較大。

(2) 電氣設備絕緣事故較線路少，它們基本上可以避免過電壓的危害。

避雷器做為防護大氣過電壓侵入波的设备，工作是可靠的。

對內過電壓的防護，主要是依靠加強絕緣的方法。

(3) 電氣設備的外絕緣事故比內絕緣多，這說明外絕緣受外界條件變化的影響很大。分析事故原因，電氣設備絕緣水平的選擇在很大程度上由防雷保護結線方式和泄漏距離來決定。

(4) 操作過電壓和工頻過電壓與系統結構有關。帶并聯電阻的斷路器、并聯電抗器、電磁式電壓互感器、自耦變壓器可以限制內部過電壓。

(5) 要求絕緣能 100% 地耐受各種過電壓，將會使絕緣水平選擇得過高。確定一定的故障周期指標是合理的。

2. 過電壓及其限制措施。

電氣設備絕緣在承受不同型式的電壓時，具有不同的電氣強度。這些電壓包括正常工作電壓、大氣過電壓和內部過電壓。

大氣過電壓包括直擊雷和侵入波兩部分。對直擊雷的保護是裝設避雷針（避雷線）和敷設接地裝置。對侵入波則主要是依靠避雷器。

內部過電壓包括諧振過電壓、操作過電壓和工頻過電壓。

諧振過電壓由各次諧波下電網參數諧振而引起。消除和降低諧振過電壓的措施是適當選擇電力系統結線，規定一定的操作順序和在發電機、調相機內採用阻尼線卷以及改變系統參數。

操作過電壓主要是由系統中電弧的重燃或熄滅引起的。綜合各種型式的操作過電壓可以得到過電壓倍數或然率分布情況。對於持續時間甚短的高頻振蕩波（如切斷電感負荷），可以

用普通避雷器限制。当采取有低阻抗并联电阻高速遮断的断路器、磁吹避雷器和其他泄流元件时(饱和电抗器, 电磁式电压互感器、自耦变压器等), 其他型的操作过电压可以显著降低。在确定絕緣水平时, 还必须对相间过电压给予应有的注意。

工频过电压在超高压远距离输电中有很重要的作用, 这种过电压是在电力系统发生某种变动(例如非对称短路故障、負荷的突然增减线路断开后的电容效应等)时, 所引起的超过正常运行电压的短暂的升高。持續時間可达数十秒。工频过电压的大小直接影响内部过电压的高低, 而且对避雷器的工作条件和作用有很大影响。限制工频过电压主要依靠調整电网参数和装设补偿装置等措施。

3. 电网結構是决定絕緣配合的基础。

对我国电力系统絕緣配合的認識和掌握上, 和其他专业技术一样, 是经过一段发展过程的。在初期, 学习苏联及其他国家的经验, 指导我們的工作。通过一个阶段的实践, 逐渐感到这些经验必須与我国的实际情况相结合。进一步体会到毛主席指出的“去粗存精、去伪存真, 由表及里, 由此及彼”的認識方法。苏联的絕緣配合計算方法比較系統, 概念比較明确, 但結合系統实际情况不够。美国、瑞典等国則比較多的結合了运行經驗和电网具体条件, 但配合方法比較分散, 缺乏系統性。

我們認為, 必須有一套完整的計算方法作为指导絕緣配合的依据。但也必須指出, 这些計算公式还远不能反映錯綜复杂的具体情况。因此, 絕緣配合是离不开对电力系统具体情况分析的。在不同的情况下, 采取不同的水平, 而不能單純依靠計算公式所求得的結論。世界各国超高压系統的建设經驗亦说明了这个問題。

如瑞典第一条 380 千伏线路投入运行时, 当时系統的短路功率为 1000 兆伏安, 线路长 953 公里, 采用的冲击絕緣水平为 1755 千伏。随着系統的扩大, 短路功率增加和系統划分为較短的线段后, 冲击絕緣水平就降低为 1500 千伏。以后又根据线路长 600 公里和系統短路功率为 2500 兆伏安的条件, 冲击絕緣水平更进一步降低为 1300 千伏。

芬兰建设的 380 千伏系統采用 1650 千伏的冲击絕緣水平, 以及澳大利亚的 330 千伏采用 1300 千伏的冲击絕緣水平都是考虑了初期工程的线路較长, 系統短路功率較低的因素。

西德、法、英、美等国的情況正相反, 它們的系統中线路較短, 与超高压系統并列运行的低一級电压的系統規模都較大, 所以短路功率亦較大, 在初期工程有条件采取較低的冲击絕緣水平。尽管如此, 也还有采用較高絕緣水平的情况。例如, 美国統計 1964 年以后十年內各公司拟建 330 千伏系統所用变压器的絕緣水平情况时, 得出如下結果:

拟采用的冲击絕緣水平 (千伏)	1300	1175	1050	900
安装的变压器总容量 (兆伏安)	2500	1900	15312	500
占总安装容量的百分数%	12.3	9.4	75.8	2.5

实际上, 不同的电网結構出現的过电压值及其或然率不同。例如:

(1) 系統的容量和短路功率越小(即短路功率与自然功率的比值越小), 意味着系統短路电抗越大, 在突然切除負荷时, 引起的工频过电压亦越高。图 1 中明显的表示了瑞典在这方面的研究結果。当短路功率由 7000 兆伏安减少为 2000 兆伏安时, 首端的工频过电压便由 1.1

倍增加为 1.5 倍。

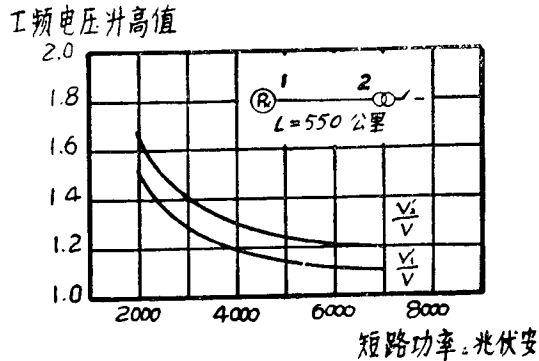


图 1 短路功率与工频电压升高值的关系

(2) 线路越长，工频过电压越高。这一方面是因为电容效应越骤，另一方面亦增加了突然切除负荷时的电压升高。计算表明，在沒有补偿的情况下，600 公里的长线电容效应所引起的电压升高达 1.25 倍。

(3) 水电站比火电站严重。这是因为在突然切负荷时，水轮机调速机构的时滞较长，电压升高差不多随着转速的增加正比例增加，一般水轮机电压上升 20—30%，而汽轮发电机为 10—15%。

(4) 不同的中性点接地方式大大地影响着不对称接地时正常相上的电压升高。

(5) 和自动化程度有关。在超高压系统中为了保证系统的动稳定，发电机往往采用高顶值（达 4—5 倍）的强行励磁，切除故障后将引起电压大大升高，这对快速调节励磁装置提出了严格的要求。

(6) 单回路比并列多回路严重。瑞典在长 644 公里的 380 千伏系统中，并列多回路切除一回路负荷时，得到工频过电压为 1.28 倍，而仅一回路向单一方向送电时，首端为 1.49 倍，末端则达到 1.91 倍。对于变电站，当有多路出线时，操作过电压亦将有进一步降低。

4. 断路器是限制内部过电压的基本环节。

有些国家把断路器看成是只发生操作过电压的元件，而把避雷器看作为限制操作过电压的主要电器。从过电压的发生过程来看，我们认为断路器是限制过电压的基本环节。

断路器是系统的操作电器，它的特性对操作过电压的幅值、波形、持续时间有决定性的影响。断路器产生过电压，因此它就构成了内部过电压的产生与各种限制措施之间矛盾中的主要矛盾。在过电压产生的同时，就设法把它降低，应当认为是最根本最有效的措施。

在断路器的触头间的并联电阻（中值的，低值的，线性的，非线性的），由于减少了触头间的电位差，均衡了各断口的电压分布，从而减少了电弧重燃的可能性。即使仍然发生重燃，也因触头间的电位差降低和电阻的阻尼作用而降低了过电压幅值。断路器在限制过电压的同时，还改善了自己的性能。借助并联电阻的作用可以减缓断口间的电压恢复速度，从而提高了断路器的断路容量。

国内外不論分析試驗抑或實踐中都証明带并联电阻高速遮断的断路器对降低内部过电压效果非常显著，并且是安全可靠的。例如苏联用不带并联电阻的空气断路器切断空载线路286次，过电压在线路側为2.7倍，在电源側为2.4倍，而用带低欧并联电阻的空气断路器切断空载线路327次，最大仅1.6倍。国际电工委员会第17技术委员会（开关）正在进行关于断路器允许产生的最大过电压的討論。

因此，采用良好性能的断路器作为限制操作过电压的第一线措施，在技术上和经济上都是合理的。

至于其他措施，諸如磁吹避雷器、自耦变压器、电磁式电压互感器、并联电抗器以至保护間隙等，都是在操作过电压发生之后才起到限制作用的，只能算是輔助的、居于第二线的措施。

5. 避雷器的作用和对它的要求。

避雷器一直是限制大气过电压的基本元件。变电所的冲击絕緣水平由避雷器的保护水平决定。避雷器同时还可以限制短时间的操作过电压。近十年来，由于磁吹避雷器的出現和不断改进，设备的基準冲击絕緣水平有了較多的降低。

随着避雷器的通流容量和灭弧能力的进一步加强，現在还常常希望避雷器能保护电气设备免受操作过电压的危害。但是就我国目前的情况来看，避雷还不能做为防护内部过电压的基本措施，这是因为：

(1) 除用断路器把好降低内部过电压的第一关外，还需要有后备的輔助措施，以便在断路器不能满意地完成限压到規定的内部过电压水平，或者出現了或然率較少的高幅值内部过电压时，避雷器应确保电气设备的安全。

(2) 避雷器本身还不能胜任站在保护内部过电压最前列的任务。他是防护大气过电压的基本措施，如果再要求防护内部过电压，再加上放电压（尤其是工頻放电压）分散較大，将会使其过于頻繁地动作。必然会加速避雷器的老化，增加损坏率，反而不能很好地完成赋予它的保护大气过电压的任务。况且，当出現某些持續時間較长的高幅值內过电压时，更增加了其本身造成事故的可能性。

(3) 这样来明确避雷器的作用，不仅会显著减少它的动作次数，并且由于断路器性能的改善，也有力地减轻了避雷器的工作条件，从而在目前的制造水平下，更好地改进避雷器性能，使设备确有更可靠的过电压保护。

根据以上所述，对磁吹避雷器的要求有：

(1) 为了保证磁吹避雷器在內过电压作用下“又动作，又不动作，又保护，又不保护”，它的工頻放电压就应整定在：低于设备的工頻絕緣水平，高于断路器在考虑了工頻过电压之后所能达到的保护水平。

具体来说，对于330千伏，在工頻过电压为 $1.3U_0$ 时，断路器能保证 $2.0U_0$ 的情况下，要求避雷器的工頻放电压在534—615千伏之間。

(2) 为了保证避雷器在工頻电压下击穿后不致爆炸，避雷器应有足够的通流能力和灭弧性能。对于330千伏，要求能通过2000微秒，500—1000安矩形波电流。这和国际电工委员会第37技术委员会1964年年会通过的10千安等級重型閘型避雷器通流容量的决定是相吻合的。

6. 线路、变电所及所內的“自配合”。

变电所的絕緣水平要不要与线路的絕緣水平相配合，曾經是引起爭論的問題。我們認為追求他們之間的配合，並不一定是恰當的，這是因為：

从防护大气过电压出发，线路和变电所的保护措施完全兩样，过电压水平不同，应当相信避雷器可靠的保护作用，

从耐受內部过电压出发，当变电所的设备絕緣水平要求較线路高一級时，由于线路絕緣子分散性很大，将会使变电所的絕緣水平提高到不能容忍的地步。况且，当采用磁吹避雷器来限制內部过电压时，变电所型的避雷器与线路型的避雷器特性不一定完全相同。

变电所內部设备与避雷器之間的配合应当包括伏秒特性与伏安特性两个方面，前者与避雷器冲击放电电压和设备的截波試驗电压有关，决定避雷器到变压器的最大允许距离，后者則决定设备的試驗电压。

过去，由于避雷器的質量較差，曾要求变电所內有“自配合”，即最貴重的、影响最大的设备要比其他设备放电电压高，而次要的设备放电电压逐級降低。直到最近，一些国家（例如瑞典、美国）仍沿用这样的絕緣配合原則。采用这种原則将会大大提高设备的絕緣水平，增加造价，因此不能認為是适当的。

7. 全面的技术經濟观点。

在确定絕緣配合的方案时，还有一些因素必須给予充分的重視。諸如：

(1) 政治意义。包括输电线路的性質和作用，对可靠性要求，输送容量，输电中断带来的政治经济影响等。

(2) 运行经验和制造能力。有沒有运行经验、中間試驗和实践知識，关系到对問題的本質有沒有客觀知識。国家的制造水平尤其对保护设备的性能影响很大，例如磁吹避雷器的放电电压分散性和殘压的进一步降低，通流容量和灭弧能力的进一步提高，断路器的高速遮断和并联电阻性能等制造技术必須是指标先进，落实可靠，并经过实际运行的考验。

(3) 地区条件。往往特殊的地区条件以及它們相互作用的錯綜复杂的关系会给絕緣水平的選擇带来一些特殊困难。例如：山区往往是高海拔，高土壤电阻率、大风砂等問題比較突出，而重雾、湿热、污秽又会使絕緣强度降低。有些問題还不能定量，还有些問題在目前沒有比較有效的措施。

(4) 全面经济。

决定絕緣水平时，应该既考虑建設費用少，又要考虑运行維護費用少，同时还要保證供电可靠性高。單純地追求设备制造和变电所造价的经济指标先进是不合理的。而是应当爭取整个系统的经济指标先进。

在决定絕緣水平时，还应全面地考虑大气过电压、內部过电压和工頻过电压的要求，力爭他們对絕緣同时起控制作用。同时还不能要求 100% 的耐受水平。

在进行絕緣配合时，还要恰当地協調各保护设备和被保护设备相互之間的关系。例如允許的工頻过电压确定的太低，虽然能够改善避雷器性能，降低殘压，但却可能会不适当地增大了并联电抗器的容量；又如：稍许提高变电所其他设备的絕緣水平，就有可能减少变电所避雷器使用的总数量。