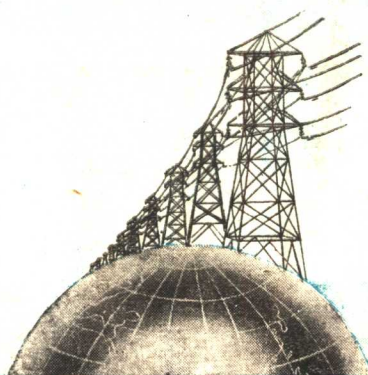
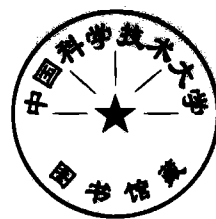


第十七届国际大电网会议 报告选译



1. 苏联对于600千伏超长距离输电系统的研究
2. 瑞典高特兰岛高压直流输电线路引起的通讯干扰及其他效应
3. 在室内试验档距、室外试验档距以及实际的输电线路路上对导线振动的研究



第十七届国际大电网会议报告选译

編輯者 中国科学技术情报研究所
出版 北京朝内大街117号
印刷者 外文印刷厂
发行处 中国科学技术情报研究所
訂購 北京朝内大街117号

工本費: 0.60元 1959年5月出版

72.1
5627

前 言

为了配合我国以三峡为中心的动力系统的建立，我们从第十七届国际大电网会议（1958年）的报告中选译了这三篇文章。

这次选译的三篇报告，一篇是苏联的，是关于采用 600 千伏电压进行输电的研究报告；一篇是瑞典的，是关于高压直流输电系统通讯干扰的研究报告；另一篇是美国的，是关于架空线路导线振动的研究报告。仅仅这些，当然还远不能包括有关象三峡那样强大的动力系统的所有主要问题。以后，我们还准备根据情况继续进行这项工作。希望有关方面能大力协助。

72185

苏联对于 600 千伏超长距离输电系统的研究

N. B. Bogdanova, A. K. Gertzik, N. P. Emeljanov, A. I. Kolpakova,
I. M. Markovich, V. I. Popkov, S. A. Sovalov, G. A. Slavin

摘 要

本文报导了在三相输电系统中确定使用 400 千伏以上的电压级的研究结果，此输电系统将在 1500 公里以上的距离经济地传输 4000 兆瓦左右的功率。根据技术和经济计算的结果进一步地研究表明，应该采用 600 千伏左右的电压。

文中提供了电压约为 1000 千伏均方根时在杆—杆和杆—平面电极间空气隙的电强度试验结果。

并且提供了在各种不同的气象条件下一条直径为 25.2 公厘和 37.1 公厘的复导线试验输电线路的不同天气的电量损耗。同时还描述了一种方法，可用以预测在固定的天气条件下 600 千伏线路上可能发生的年电量损耗。

此外，还考虑到了下面几个问题：

电量对于导线截面的选择有何影响；电量损耗与复导线中导线的数目及导线截面有何关系；导线扩大的效应是什么。

1. 苏联远距输电系统新电压级的选择

今后 15 年内苏联动力工业的发展，是与利用大量的水能和西伯利亚的不能运输的廉价燃料相联系着的。

西伯利亚电站的容量和发电量非常之大，因此，除了在这些电站附近地区大力发展工业外，还有一个问题就是如何将发出的一部分电量传输到遥远的地区，特别是乌拉尔地区去。连接西伯利亚电力系统和乌拉尔的电力网，将解决了输电线路通过的广大地区的供电问题。由于各个电力系统所处的地带不同，它们需要电力的时间是不一致的，因此设备容量有相当的經濟性。

这些输电系统在线路长度和输送容量方面将超过古比雪夫线路几倍。在这些方面，苏联正在超过 1500—2500 公里的线路上进行 4000 兆瓦左右的直流和交流输电试验。下面所述为交流输电工作情况。

为了使这个问题得到相当经济的解决办法而确定新电压级时，不需要考虑输电系统的一切功能。不论是传输水电站的电或者热电站的电，不论是用负荷曲线还是用不同的河水流量来调节这些电力系统之间的关系，必须要保证用相当低的输电费用来满足需要的输送容量。

可通过下列几种措施来降低输电费用：增加一个线路的容量，增加工作电压，简化输电系统，以及改进线路和设备并降低它们的成本。

可借提高远距输电线路稳定度的种种方法，来提高线路的输送容量，这些方法已经采用。其中有：复导线、串联电容器补偿、改进的激励系统（即所谓“强作用”的调节器）〔1〕、大型补偿装置（特别是中间同步电容器）以及电动的和机械驱动的发电机紧急制动器。

电力系统参数的补偿, 对于所考虑的长度和容量的线路来说是绝对需要的。由于线路长度接近于1500公里 (为非补偿线路的一个波长的1/4), 因此发生了一些特殊的因素, 使系统不进行补偿不能运行, 例如: 当输送容量改变时电压急剧变化; 此外, 线路上的电压分布, 除了自然功率传输外, 不适于所有的运行情况; 稳定度低并且有不可容许的大功率损耗。

可用电容器或同步电容器进行补偿。

当输电系统连接到电力系统上时, 就将同步电容器装在变电所中以使无功功率得到平衡。这种同步电容器由于使用“强作用”调节器, 能有效地保持稳定状态的稳定度。苏联正在研究改变同步电容器的设计, 以便得到更好的电气参数。

在苏联进行研究的結果可以证明, 发电机和同步补偿器利用“强作用”调节器可以保证输电系统的稳定运行, 所达到的稳定限度是由高压电站母线及同步电容器端头上的电压的恒定度来决定的。

至于在瞬时稳定性方面, 毋需要求400千伏或400千伏以上的输电系统在相间故障时保持稳定, 因为相间故障是很少发生的。至于在接地故障时, 可以用强制激励和机械及电力制动的办法来保持系统的稳定性。

有一部分线路通过的地区还没有电力系统。在那些地区通过的输电线路用电抗器和串联电容器进行补偿。

经证明, 串联和并联补偿装置, 若是在线路上配置均匀的话, 对于通过式输电系统最有效。减少线路上相位角的均匀分布的串联和并联补偿, 可看作是缩短远距输电的系统上波长, 因此消除了线路上不满意的运行情况。

因此, 将使用同步电容器和串联电容器在远距输电系统中进行补偿。研究结果证明, 总容量和补偿装置的费用与采用的电容器的类型和大小关系不大。

为了进行经济计算, 可能使用具有串联电容器补偿的单回输电线路 (图1)。

图1中线路所选择的串联电容器补偿的数量, 是保证对于不同长度、容量和电压的输电系统具有相同的设计条件。这就使不同长度、输送容量和电压的线路端头上电压向量间的角度不变。在相位角为 45° 时进行了比较。

安装了足够的电抗器, 以便有无负荷条件下, 接点的电压与额定电压相等。在接收端变电所功率分配的费用未包括在内, 因为它们很少随着额定输电电压而变化。

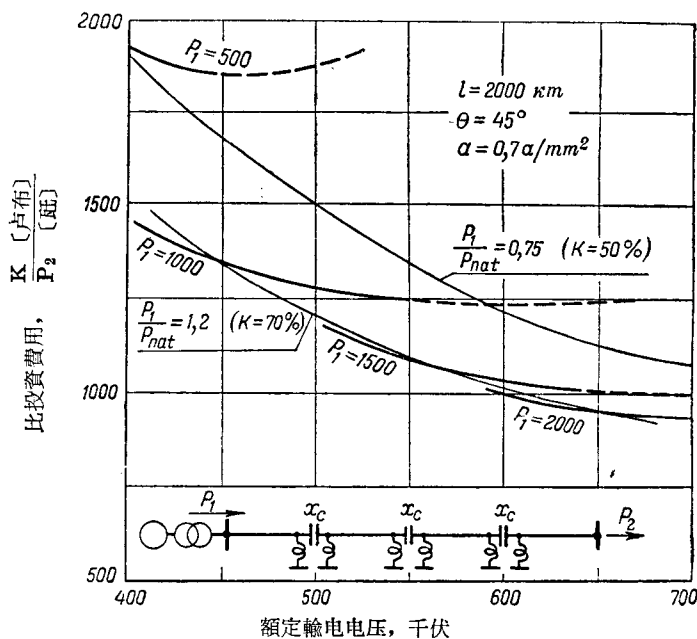


图1 输电系统的比投资费用 (第一费用) 为每条线路上的电压及输送容量的函数。

为了进行技术和经济方面的计算,采用了400千伏以上线路和变电所费用的综合指数;它们是借外推法根据对220千伏和400千伏的费用分析(见表1)而得出的。

表 1

费用指数

元 件	费用单位	线路电压(千伏)			
		400	500	600	700
变压器装置和电抗器	卢布/千伏安	15	20	25	34
断路器	百万卢布	3.0	3.9	5.5	7.8
串联电容器补偿	卢布/千伏安	80.0	80.0	80.0	80.0
输电线路	千卢布/公里	$0.107S(*) + 0.15 V(**) + 120$			

(*) S——每一相的铝线总截面面积, 千平方厘米。

(**) 线路电压, 千伏。

这些输电线路费用的指数是由每一相有4根导线的复导线单回路得出的, 4根导线各相距50公分。使用了ACO型导线, 导线中铝截面与钢芯截面之比为8。

直线铁塔是按用于正常运行情况下(例如台风和有雨雪时)的负荷设计, 但导线不考虑断裂, 纵向和横向的结构有同等的强度。

耐张铁塔只用于跨越铁路干线的线路上和同220千伏或更高电压线路的跨越上, 或者用于30°转角以上的线路上。30°以内的转角铁塔上导线是悬垂安装的。

塔脚是用预制的钢筋混凝土基础。

在计算综合费用指数时, 将绝缘水平降到了2.5V相。

投资费用(第一费用)和输电费用是根据上面所假定的设备容量以及装置与导线费用而得出来的。

电量损耗是根据本文第111节的数据假定的。

输电线路的长度取为1500, 2000, 和2500公里。电压在400千伏到700千伏之间变化。计算时假定电流密度在任何情况下都是0.7安/公厘²。

计算指出, 在上述范围内的导线长度实际上不影响输电电压的选择。工作电荷的影响也不大。

图1为比投资费用与在2000公里单回路上传输500到2000兆瓦(P_1)容量时电压级的关系曲线。投资费用是涉及到输电线路(P_2)接收端的功率的。

图1虚线表示在边相导线表面上电场强度超过22千伏公尺/公分的范围。在这种情况下必须采用截面较大的导线, 也就是电流密度小于0.7安/公厘²的导线, 或者采用扩大的导线。

在几条曲线上表示50%和70%串联电容器补偿恒定程度的一些点, 是用细线连接起来的。这些曲线是用于传输与自然功率(0.75 和 $1.2 P_{nat}$)相同的功率的。

图左面那些曲线受到了75%串联电容器补偿需要的点的限制。为了进行这个补偿, 将会发生过电压和自激励等技术方面的困难。因此, 我们只是有条件地考虑用于经济计算的75%的补偿, 而在描述线路图时也考虑到了上述的问题。

当电压为400千伏，每条线路传输750兆瓦时，2000公里长的线路的比投资费用达1500卢布/瓩。

当电压为600千伏、每条线路输电1500—2000兆瓦时，比投资费用降低约35%。由上述的输电情况看来，电压由600千伏增至700千伏时，实际上不会降低比投资费用。

选择了660千伏的最大工作电压和600千伏的额定电压作为将来研究和设计之用。

11. 660千伏最大工作电压的线路数据，长间隙的试验电压

低于400千伏的输电系统的绝缘水平基本上是由内过电压来决定的。

对于模拟以及在400千伏的古比雪夫——莫斯科输电系统上的理论性和试验性研究表明若是采取一些经济上适当的简单措施，则内过电压水平就能可靠地限制在 $2.5V_{\text{相}}$ 以内。对于电压更高的距离更长的输电系统还没有完成内过电压的研究。但是，对于超过400千伏的那些线路也设计了 $2.5V_{\text{相}}$ 的内过电压。

苏联在实际应用时，是将所需要的电压乘以1.2得到施加的电压，用于空气间隙和绝缘子的干闪络试验上；乘以1.0用于绝缘子的湿闪络试验上。

因此，在最大工作电压为660千伏的输电系统中绝缘子和空气隙的试验电压应不小于

$$\frac{660 \times 2.5 \times 1.2}{\sqrt{3}} = 1150 \text{ 千伏均方根。而绝缘子的湿闪络试验电压为 } 950 \text{ 千伏。}$$

苏联正在用900—1000千伏均方根电压确定包括棒式和板式长绝缘子串的干、湿闪络电压。这些研究表明，绝缘子串需要的长度是由湿闪络电压值决定的，在660千伏线路上应为5公尺左右。

关于选择导线与地面间需要的距离的问题是比較复杂的。从上面的数据可以看出，在导线与地面间的空气隙的耐压强度至少须为1150千伏均方根，而在两根导线间约为 $1100\sqrt{3} = 2000$ 千伏均方根。

在大多数已经确定的数据中，各种不同电极形式的空气隙的耐压强度都是在1000千伏均方根以下。

1952年美国对于电压达1500千伏的标准的棒与棒间空气隙的击穿电压作了试验〔2〕。苏联因鉴于这个问题的重要性，而且对于在这个研究工作中的一些方法有些疑问，所以，对于1000千伏均方根以上的空气隙击穿电压作了专门的研究。

第一个阶段是对于棒与棒间及棒与平面间的空气隙进行了研究。

试验是在海湾上进行的。包括三个串联变压器的试验设备的合成电压当容量为2250千伏安时达2250千伏。

棒是垂直悬挂的。特别注意了载流物体和接地物体（在棒附近）以及棒的长度对于击穿电压的影响。

经证明，若是接地物体与间隙的距离比棒间的间隙短的话，则棒间的击穿电压就要相当降低。棒的长度也同样地影响了试验结果。因此，在所有的试验中，载流物体及接地物体的距离，以及棒本身的长度。至少要为所试验的棒间间隙长度的1—1.5倍。

由三种独立的方法校准的电容分压器用来测量电压。

研究结果示于图2。采取了便于实际应用的准确度（±3.5%，可用下面的公式进行计算：

驟地增加（若与电压逐渐增加时的耐压强度相比較），因为长的空气隙具有預效应。

对于有关上述的情况，已专门进行了研究，以便确定在0.01秒至0.05秒的击穿时间内空气隙的耐压能力。

所得到的研究结果没有能证实上面假设的条件。在50周/秒第一个半周期峰值所得到的空气隙击穿电压，与电压以每秒2%到5%的速率逐渐增加时的击穿值没有差别（在测量准确度以内）。

应该指出，我们所得出的空气隙击穿电压值显然是和文献〔2〕中的数据不同的。我们认为这是由于文献〔2〕所叙述的试验中采用的棒不够长的原故。

Ⅲ. 600千伏线路上的电量

电量效应对600千伏线路在经济方面和设计方面的影响，目前还不能予以确定。但是，因为在电压这样高的线路上电量效应的影响是很大的，并且由于线路费用太高不能选用过大的安全系数，所以，使估计尽可能地接近于实际还是很重要的。

一般说来，在苏联的输电线路，特别是在所研究的线路上（横贯西伯利亚的输电系统），年度电量损耗值 A_a 必须加以考虑，在人口稀少的地区这比由电量所产生的无线电噪音还重要。

需要在一定的气候条件下预测 A_a 值，并且找出导线直径（ $2r_0$ ）、每相的导线总截面（ S ）、复导线中导线的数目（ n ）以及复导线中导线的间距（ d ）对于 A_a 值的影响。对于以前所提到的试验线路〔3〕继续进行了研究；有些结果示于图3。

由于在所要求的情况下从试验设备上得到电量损耗数据是受到限制的，因此必须广泛采用近似的估计方法。也就是说，将从一种情况下（ $2r_0, S, n, d$ ）得到的电量损耗试验数据换算为另一种情况下的数据，并且也采用由气象条件影响电量损耗的近似估计方法。苏联经过对这些方法详细研究之后认为这些方法对于所考虑的问题是有一定用途的〔12〕。

下面提供的已知的换算法则〔4〕，〔5〕具有更大的可能性。法则中规定对于不同导线表面上相同的最大梯度电量损耗 P 可用下式表示：

$$\frac{P}{P'} = \frac{n r_0^2}{n' r_0'^2}$$

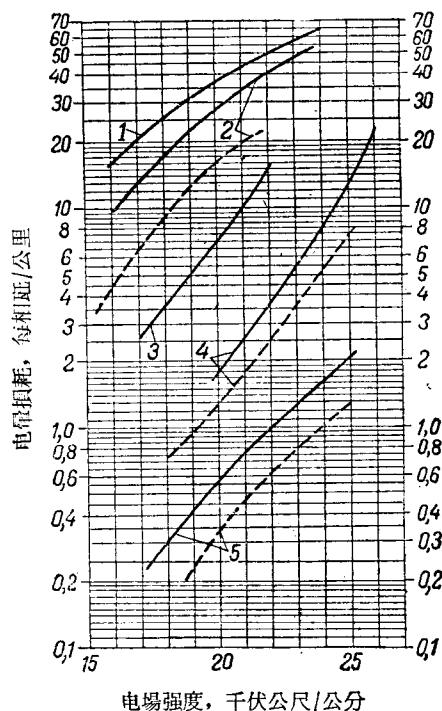


图3 各种气候条件下的电量损耗

- 1——大的白霜；
- 2——白霜；
- 3——下雨，雨量强度为0.7公厘/小时；
- 4——干雪（平均值）；
- 5——晴天
- $3 \times \text{ACO}-710/100$ 公分型导线
- $3 \times \text{ACO}-480/60$ 公分型导线

这个公式对于同一类型的单导线和复导线，对于变化小的 $r_0'^2$ 值以及对于相同的气候条件几乎是都适用的。特别重要的是，这个换算公式（具有一定的误差）不但可用于干燥的天气，也可用于雨量强度恒定的下雨气候〔4〕。

利用〔3〕和〔4〕中的方法计算气候条件的影响。考虑了三种气候条件：

1. 晴天，没有可以看见的水份的下降。
2. 干雪，并有白霜⁽¹⁾。

在这些情况下最可能的平均年电量损耗示于图4⁽²⁾，这是根据苏联和国外的试验站〔6〕，〔7〕的试验数据得到的。

对于地面1和2 (h_I 和 h_{II}) 每年的气候时数一般可从气象报告中得到。

3. 下雨和湿雪在导线上形成水珠。

在这几种气候条件下的电量损耗可包括年损耗的大部分（达50—70%）〔4〕，〔8〕，而且这些计算是很重要的。

根据文献〔9〕和〔4〕，电量损耗决定于雨量强度 i ，梯度 E_M 和导线直径 $2r_0$ 。由于瞬时雨量强度大的变化，下雨时的电量损耗波动在很大的范围内。但是，若以电量损耗作为平均雨量强度的函数（图5）来说，却相当稳定。那是根据不同的雨量强度下所连续记录的电量损耗的平均值而画出来的。目前仅能用几种导线当下雨时在试验站进行实际的观察；因此必须在试验室利用各种强度的人工降雨进行补充研究（图6）〔4〕。

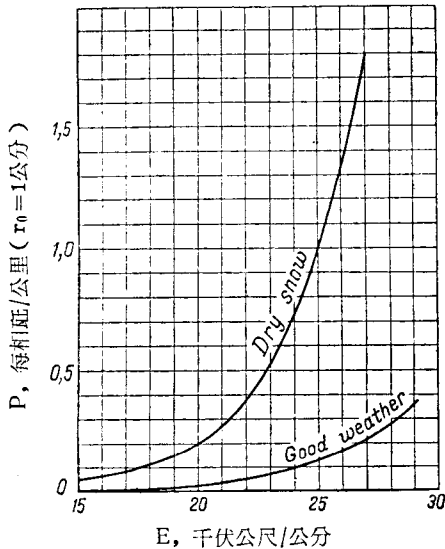


图4 在晴天和干雪时电量损耗可能的平均值
(用 $r_0 = 1$ 公分换算)

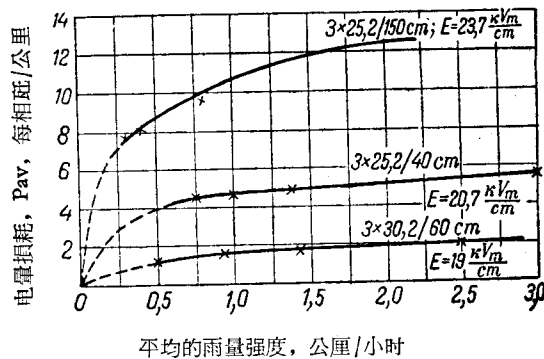


图5 在雨季（1955年4月到1957年5月）由莫斯科附近的试验线路上测得的电量损耗

利用综合曲线，根据雨量强度分配下雨的时数〔3〕，〔4〕，若是第三组气候条件下的下雨时数 h_{III} 和全年雨量 I_{MM} 已知的話，则任何地区的 Δh_I 值都能确定出来。根据苏联16年来在许多地区的气象报告，这个综合分配曲线的不变性得到了证实。

(1) 由苏联的试验线路证明，有些情况下的白霜和雾使电量损耗比下雪时还大。前者的影响与相当强度的雨量差不多。但是这种情况只是在冷导线上发生。对于已经运行的有负荷的线路的意义将进一步加以研究，现在没考虑在内。

(2) 图4中的电量损耗 P 是由假设的铝钢导线 ($r_0 = 1$ 公分) 求出来的。

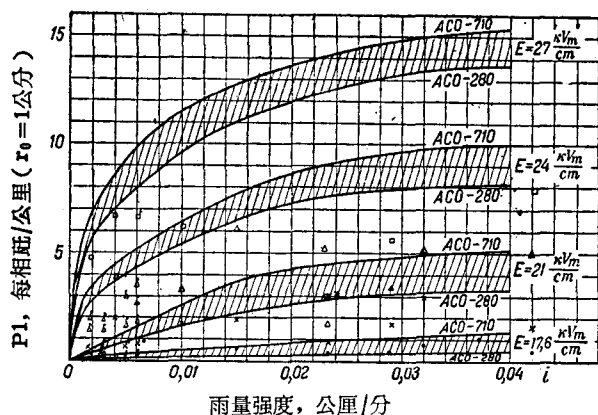


图6 电量损耗与雨量强度的关系曲线(以 $r_0 = 1$ 公分换算)。用人工造雨在试验室测得的数值(曲线上面一条是用 ACO-710 型导线, 下面是用 ACO-280 型导线)。在苏联的试验线路上的测量。

对于导线上已知梯度的年电量损耗用下式表示:

$$A_a = nr_0^2 A_1 = nr_0^2 \left[P_{II} h_{II} + P_{III} h_{III} + \sum_i P_{II} \Delta h_i \right]$$

近似估计的范围示于图 7, 图中年电量损耗 A_1 是根据图 4 和图 6 的数据和莫斯科的气候条件计算的, 并且和其他国家的测量数据作了比较。

根据西伯利亚东部的气候情况 ($h_{II} = 1160$ h, $h_{III} = 382$ h, $I = 380$ 公厘), 用各种不同的 r_0 , n , d 和 S 计算了在 600 千伏线路上的电量损耗。导线是水平排列的, 相间距离为 14 公尺。

电量损耗对于选择导线截面的影响的一般情况示于图 8。图中包括电量损耗的经济截面 ($S_{ec\ cor}$) 与不包括电量损耗的截面 (S_{ec}) 之比为每相导线总截面 S_{ec} 的函数。

可以认为, 当电量损耗将经济截面改变了 10% 时, 它已经发生了影响。

对于一条 400 千伏线路 ($n=3$) 来说, 当截面小于 $S=1200$ 公厘² 时, 电量损耗的影响变成重要的了; 对于 600 千伏线路, $n=4$, 截面小于 2000 公厘² 时以及 $n=3$, 截面小于 2500 公厘² 时电量损耗是重要的。

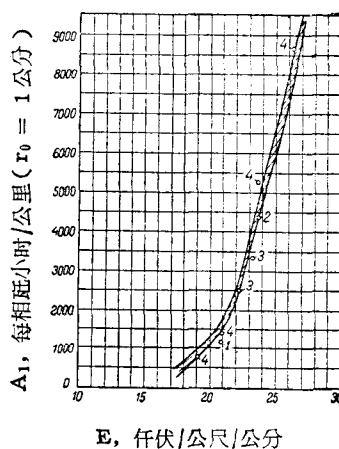


图7 根据文献〔4〕计算的莫斯科气候条件下 ($I = 630$ 公厘, $h_{II} = 766$ h, $h_{III} = 1042$ h) 的年电量损耗。空气的相对密度 $\delta = 1$ * 下面为 ACO-280 型导线, 上面为 ACO-710 型导线。
1、2、3——根据国外试验线路测量值〔10〕,〔7〕,〔11〕。
4——根据苏联试验线路的数据。

(*) 一年中 δ 自 0.95 到 1.1 的变化可能引起电量损耗的一些变化 (2 或 3 倍)。但是一般说来电量损耗可根据平均值 $\delta = \delta_{ar}$ 来确定, 在上列中近似于 1。

各种因素对于 600 千伏线路上年电量损耗绝对值的影响示于图9。实线表示在 ACO 型导线上的电量损耗，虚线表示导线直径增至1.2到1.5 倍时的电量损耗。

上述数据表明 $4 \times \text{ACO} - 710 - 4 \times \text{ACO} - 480$ 型导线可用于 600 千伏线路上。截面小于 2500 公厘² 的 ACO 型导线 ($n = 3$) 上电量损耗太大。复导线中的导线数目增至 4 根时 ($n = 4$)、总截面与前面相同时，电量损耗可降低 70%。若采用直径扩大 20% 的导线而 $n = 3$ 时，也可以得到相同的結果。

但是，对于技术和经济方面的种种问题尚需进行全面的研究所。

若从增加线路输送容量的观点看来，增加参数 d 的可能性是值得考虑的。正如图 9 表示的， d 从 400 公厘增至 800 公厘，将使特性阻抗降低约 10%，年电量损耗将增加 20%。

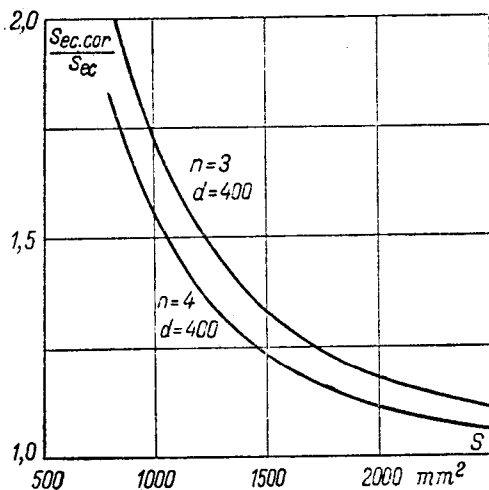


图 8 600 千伏线路

东西伯利亚东部的气候情况 ($h_{II} = 1160$ h, $h_{III} = 380$ h, $I = 380$ 公厘)

对于上述的这些推测，苏联目前正在试验线路上进行广泛的校验。

结 论

1. 根据技术和经济上的理由、选用了 660 千伏的最大工作电压和 600 千伏的额定电压作为 400 千伏之上的电压级，并将用这个电压级进行进一步的研究和设计。当输送容量增至每条线路为 1500—2000 兆瓦时这种电压在经济上是有利的。

2. 在研究空气隙的耐压强度时，发现棒与棒及棒与平面两电极形式的击穿电压在 1000 千伏均方根以上的电压时差别很大。

在选择 400 千伏以上输电线路尺寸和开关装置时不可以利用标准空气隙的耐压强度。需要得到实际的电极形式上的击穿电压数据。对于这些线路尚需继续进行研究。

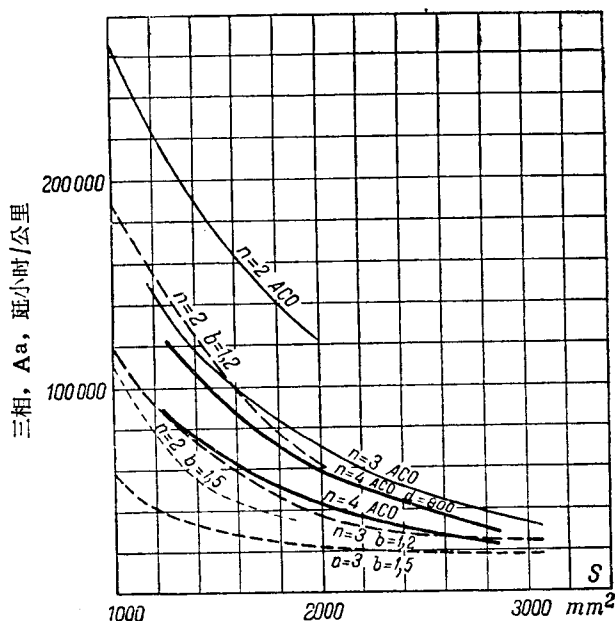


图 9 600 千伏线路上的年电量损耗 (在西伯利亚东部的气候条件下)

- ACO 型铝钢绞线 (在所有情况下都是取 $d = 400$ 公厘，只有在 $n = 4$ 的一条上 $d = 800$ 公厘)
- 同上，直径增大 20% ($b = 1.2$)
- 同上 ($b = 1.5$)

3. 在电压为600千伏时, 每相的复导线需要普通类型的4根导线(每根直径为37公厘)。若是导线直径增加20%, 则仅需3根导线。但是有关技术和经济方面的问题还需加以周密的研究。

参 考 文 献

1. D. I. Azariev, V. A. Venikov, L. G. Mamikonjantz and I. A. Siromiatnikov, Measures for increasing the reliability and stability of power systems and long-distance transmission lines (CIGRE, Report No. 318).
2. S. H. Hagenguth, A. F. Rohlefs and W. J. Degnen, Electr. Eng., 1952.
3. N. B. Bogdanova, A. K. Gertzik, N. P. Emeljanov, V. I. Levitov, V. I. Popkov and N. A. Voskresenski (CIGRE, 1956).
4. V. I. Popkov and N. V. Bogdanova, Elektrichestvo, No. 1, 1957.
5. K. Potthoff, E.T.Z., vol. 54, 1953.
6. W. Borgquist and A. Vrethem (CIGRE, 1948, Report No. 412)
7. Fr. Cahen and R. Pelissier, Bull. Soc. franc. Electr., vol. 8, No. 79, 1948.
8. Fr. Cahen, Beame Journal, October 1951.
9. I. W. Gross, C. F. Wagner, O. Neff and R. L. Tremains, Trans. A.I.E.E., vol. 70, part 1, 1951.
10. Digest in El. Light Power, vol. 31, No. 4, 1953.
11. J. S. Forrest (CIGRE, 1952, Report No. 301).
12. V. I. Levitov, Using similarity theory in investigating a.c. corona (Izvestia Acad. Sc. U.S.S.R., O.T.H., No. 12, 1956).

瑞典高特兰島高压直流輸电綫引起的通訊 干扰和其他效应

G. A. Pettersson, L. Ahlgren, H. Forsell

1. 序 言

此直流輸电系統已自1954年起投入运行, 其特性如下。

在瑞典大陆是通过120公里长的130千伏綫路饋电給整流变电所, 在那里将交流电变为100千伏200安的直流电, 由一条长约100公里的单芯海底电綫将直流电輸送到高特兰島。在高特兰島的反流变电所将直流变成交流, 經過10千伏的中間电压饋入高特兰島的30千伏網絡上。網絡和反流器所需要的无功功率由10千伏30无效兆伏安的同步电容器来补偿。直流电流通过海水回来, 而每一电极由一架空綫与換流变电所相連接。

关于直流輸电的一些問題在交流輸电系統上一般是不会遇到的。这里要提到的是設備的外部效应問題。本文叙述了所遇到的一些問題以及解决这些問題的一些措施。

2. 腐 蝕

在本直流輸电系統中是以海水作为回路导綫, 因此必須特別注意腐蝕問題。当輸电时, 在海水里不同电极間的直流电流穿过敷設在海底某些区域的电綫, 而且又从另一些区域的电綫中流出来, 这就发生了腐損损坏的危險。

可能受到腐蝕的电綫包括大陆与高特兰島間的直流輸电电綫和以前敷設的电话电綫。与电訊局协商之后同意能够容許 0.1 微安/公分²的向內漏流。計算表明, 負荷电流为200安时这就相当于电极与电綫間9公里的最短距离。实际选择的距离是10公里。海底电话电綫与电极的距离比电力电綫远一些, 因此比电力电綫少受一些腐蝕作用。

敷設直流电綫之后, 測量了电位以确定腐蝕的危險性。測量結果表明, 鉄鎧装和鉛护套电綫电位約1.0伏(与銅/硫酸銅电极有关)。因为对地負电位至少为0.85伏时鉄不会腐蝕(对鉛为0.55伏), 在鉄鎧装上的鍍鋅层未損伤以前, 电綫是不致受腐蝕的。无电流电綫和通电流电綫的电位差很小(0.005伏), 从海底电极的漏流微不足道, 因此鍍鋅层受腐蝕的危險很小。在高特兰島一端电位的变化是正方向的(在大陆是反方向的)。

在某些情况下可能有大量电流經過电綫护套。当开关装置发生接地故障时, 則电綫护套上可能分佈大部分的故障电流。若从运行的观点来看則必須立刻截断。这样就只在一个短時間內受到腐蝕, 所以可以認為是无害的。

当在电极导綫和地面間的电容器上电花間隙閃絡时, 相似的情况是有效的。

在罗盘測量方面, 对于能够从变电所接地網絡分配到海里的电流进行了研究。根据对于上述故障情况下地面磁場垂直部分变化的研究, 在电綫护套內的电流流量估計可能是負荷电流的15%。

在变电所开关装置上及通过测量分压器的漏流估計約为100毫安。其中只有一小部分（約15毫安）将通过電纜护套，假若护套是連在接地網絡上的話。考虑到避雷問題这种連接还是需要的，但为了消除腐蝕的危險采用了电花間隙。

在高特兰島根据电流消耗对鍍装的鍍鋅层保护問題进行了試驗。試驗表明，几个安的电流消耗就完全可以消除腐蝕的危險。但是，直到目前为止，腐蝕的危險被認為是很小的，因此沒有采取任何的电流消耗方法。

3. 罗盘偏差

在直流電纜里的电流形成一个磁場，因而在電纜附近罗盘产生偏差。其偏差可由下式来确定：

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{5 \times s H_e} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{s}\right)^2} \cos \gamma,$$

式中 I = 直流电流，安；

S = 電纜以上的高度；

H_e = 地面磁場的的水平部分；

γ = 電纜路綫与磁場南北极的夾角；

X = 与電纜的水平距离。

由上述公式算出的偏差是由導綫中的电流引起的，反回电流的影响还未考虑在內。若以海水作回路，則由于海水回路电流和鍍装剩余电流的修正值可以忽略不計。

所幸高特兰島電纜的路綫在东西方向的偏移不大于 11° 。当直流电流为200安时，在電纜正上面的偏差仅为 0.3° 左右，由此可以証明，罗盘偏差还没有引起任何严重問題。1955年冬天在冰上进行的測量証实了这种計算。

4. 无綫电干扰

第一次測量时，在整流变电所只用了一套离子閥，輸出电压为50千伏，然后采用了两套离子閥，輸出电压为100千伏。

由整流器来的干扰电流通过电极導綫，电极導綫在大陆的长度为20公里，在两极上有8—10公尺高的两根導綫。而且射頻电压由这条綫路感应到交錯的和邻接的綫路，以及一条40千伏和一条130千伏的綫路上去。

因为电极導綫經過的是无居民的地区，因此綫路附近的干扰未引起什么問題。但是，在整流变电所工作的人員收听无綫电广播时就受到了干扰，他們的房子离整流器及連接开关装置的电綫很近。曾用电場强度計对干扰进行了測量，并使用了装在电綫下面的回路天綫。測量装置是根据 C. I. S. P. R. 标准制造的。

在下列一些地点进行了測量：

离整流变电所約4.7公里和12.5公里的电极導綫下面的第1和第4測量点，离变电所約6.7公里在130千伏的整流器饋电綫下面的第2測量点，离变电所約6.9公里在40千伏的接开关装置的綫路下面第3測量点，离变电所約0.5公里在电话綫路（32根導綫）下的第5測量点。

所得的数值列入表1。

沒有发现輸出功率在任何程度上对干扰发生影响。

在莫塔拉广播电台的电場强度（在这个地区收听最清楚）接近第2測量点时約为3—4毫伏/公尺。

为了减少干扰，在整流变电所电极綫与地面間連接了一个0.1微法的低电感电容器。

表1 无綫电干扰的电場强度

測量地点	頻率(千赫)	电場强度 (微伏/公尺)	
		50千伏	100千伏
1	160	235	7000
	240	320	1200
	550	50	110
	1000	15	12
2	160	141	900
	240	137	75
	550	20	17
	1000	38	—
	1400	16	—
3	160	55	60
	240	50	70
	550	8	16
	1000	10	—
4	160	6	—
	240	3	—
5	160	—	45
	240	—	140
	550	—	20

5. 由于直流电中的脉动而产生的噪音干扰

当进行計划工作时，整流器設計师們提供了在頻率 $f = p \times n \times 50$ 时有关在直流端整流器脉动振幅的数值， p = 脉冲数目， $n = 1, 2, 3$ ，等等。因此，对直流輸电海底电綫和电极連接导綫形成的电扰效应能够預先作一个估計。

在海底电力电綫附近有一条海底电话电綫，在大陆的电极連接导綫附近的电话綫上有一段露天部分，它包括一条双綫架空綫。当預先計算电话电綫中的干扰时，适当考虑了在电话电綫和电力电綫中的波形。在計算时是假設电话电綫（为同軸电綫）由于它的特性阻抗而接在两个端头上，而电力电綫則由于高阻抗接在离饋电处远的一端上，因此，可以假設此处整流器脉动的振幅很小。

电力电綫上电流的計算值示于图1，两条曲綫表示600及1200赫时的电流值。計算（見附則1）表明，海底电话电綫与电力电綫間的距离不应小于350公尺。在这种情况下在声頻

通道的干扰电压 (V_o) 没有超过国际限制。当选择的电缆距离为 2000 公尺时, 实际上的干扰只为最短距离的计算容许干扰的 3 % 左右。计算也表明了干扰与距离的平方成反比例。

估计了来自大陆的裸线电话电缆上电极导线的干扰, 在计算时考虑到了在电极上短路的电力线的波形 (附图 2)。

干扰电缆一部分为很少几家用户的露天电缆 (在电极附近), 一部分为接地裸线。由附图 1 的曲线可以看出两条线路对于电极导线的位置。在各种频率下整流变电所声频电流为一定值 (I_o) 时测量的和计算的在地面与用户电缆间的电压 (V_i) 示于附图 2。可以看出, 对于一条短的用户电缆来说电压的测量值和计算值是相当一致的。

假若有少许的变化, 则必须把接近的电缆分成不同的段, 每段中相隔的距离相当一致, 并且计算到电话线接头的每一段的感应电压。附图 3 为根据附图 1 和图 2 画出的在露天电话线各种频率上 I_o 值恒定情况下的测量电压值曲线。

预先的计算表明, 在整流器脉动的各种实际值上干扰将达到一个不容许极限。为了减少干扰可以考虑几种不同的方法。例如, 可为电极导线选择另一条路线, 或者把电话线移动到另一个位置、从技术观点和经济观点来看, 最好的方法是在电极导线和地面间的整流器上装一个电容器。这个电容器不论在什么情况下对于减少大气过电压的危险都是必要的, 但是从经济观点来说, 在几微法左右可以进行选择若使电容器有相当高的容量, 就能够减少电极导线中的声频电流。最后选择了 100 微法的电容。

电极导线中的叠加声频电流的一部分是与由下式确定的频率有关。

$$I_o = I_T \times \frac{1}{\omega C \times Z_K}$$

式中 I_o = 整流器中电极导线里的声频电流;

I_T = 由整流器供给的全部声频电流;

Z_K = 电极导线的短路阻抗;

C = 分路电容器的电容;

Z_K 及 ωC 是频率的函数, 参阅附图 4。

在整流装置开始运行以后, 对于和直流电流中声频脉冲有关的问题进行了分析, 在电力方面具有重要性的平滑装置被连接在整流器和电缆之间。这种由电抗器、电容器和电阻器构成的平滑装置, 对于在电话干扰方面来防止声频电流流入输电线路起着主要的作用。

根据附图 1 的曲线, 计算了在与地绝缘的线路上的 160 和 860 毫伏的 2 和 3 两段的音强计纵向干扰。在后面一段上的横向音强电动势是在 0.32 毫伏时测量的。附表 5 分析了上述情况下的音强计纵向干扰。

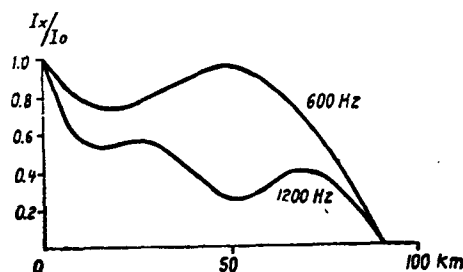


图 1 直流电缆中的电流