

《输电线路对电子装置的干扰影响》

山东电力设计院 刘汝玺

随着我国电力工业及电子技术的迅速发展,正确地解决和处理输电线路对电子装置的干扰问题,越来越被引起广泛的重视。

这里所说的电子装置,包括无线电发射和接收装置,包括以频率划分制原理构成的遥控——遥信系统及以交流频率制原理构成的遥测系统,也包括分别占用不同频带的各输电线路的高频继电保护装置,以及晶体管继电保护装置,载波通讯系统等。输电线路在晴好天气、特别在恶劣天气下运行时,在导线及悬式绝缘子表面,都可能程度不同地产生电晕及局部火花放电,从而在其周围产生各种不同频率的干扰信号。上述对频率敏感的电子装置,其动作的准确性和可靠性,必然会受到这种干扰信号的影响。但是,干扰信号是沿输电线的垂直方向(即横向)衰减的。为了把干扰影响减到最小限度,过去一般采取加大输电线与电子装置间的距离的办法来解决。一九五九年,邮电部、通信兵部及广播事业局曾对输电线与无线电设备的最小距离作过联合规定。然而,输电线对电子装置干扰影响的因素复杂,不同类型和不同重要性的电子装置允许的干扰值并不相同,因此,不考虑各种条件和因素,就对输电线与电子装置的距离作出同样的规定是不尽合理的。事实上,由于输电线干扰信号的频谱特性及横向衰减特性,解决干扰问题也不应单纯依靠增大距离的办法,而应根据信号的频率范围、幅值大小、工作方式、接收方向以及输电线的干扰水平等具体情况具体分析,提出合理的解决方案。

由于我院设计之某220千伏输电线路走径狭窄拥挤,与无线电收信台靠近,无法满足上述“联合规定”的距离,为了促进该线路的建设,确保无线电收信台的正常运行,在青岛市委的统一领导和有关单位的大力支持协助下,于1976年7月17日到31日,在220千伏X—X线路上进行了无线电干扰测试,为合理解决线路路径提供了一定的科学根据;而测试所得的结果,亦可供解决输电线对其他电子装置干扰问题时参考。

1. 测试要求及线路梗概:

为较真实地反映线路实际干扰水平,测试时应尽量排除不应有的外界因素影响。为此,要求线路有较长的直线段,地形开阔平坦,背景干扰较小,附近无屏蔽障碍物,离变电所保持一定距离等。鉴于上述要求,测试选择在220千伏X—X线长5.3公里的直线段上进行,距最近的变电所9.2公里,已能避免终端反射的影响。该线路导线型号为 $1 \times \text{LGJQ}-300$,表面电位梯度17.3千伏/厘米,平均对地高度约11米,直线杆悬垂绝

缘子串采用13片X—4.5。基本直线杆型为等径钢筋混凝土预制圆杆与钢横担组成的π型杆，相间距离6米。

2. 频谱特性:

测量输电线对电子装置干扰的频谱特性，是为了确定电晕及火花放电时各种频率干扰波的强度，掌握干扰强度随频率变化的规律。测量位置我国目前尚无规定，过去测试中也不尽统一，为便于与国内、外输电线的干扰水平比较分析，我们选用了在挡距中央边相导线地面投影和距该投影15米两个位置。

频谱特性测量记录见表一，特性曲线为图1、图2所示。

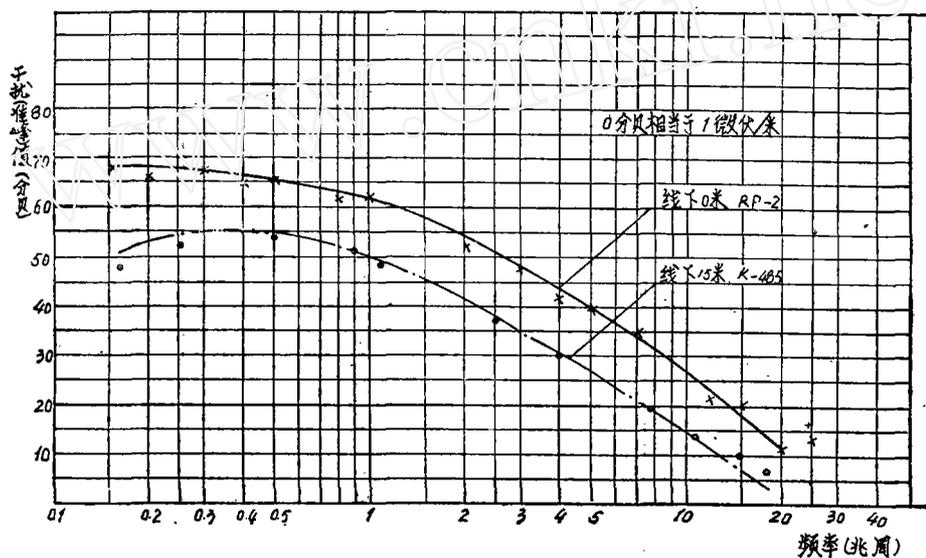


图 1

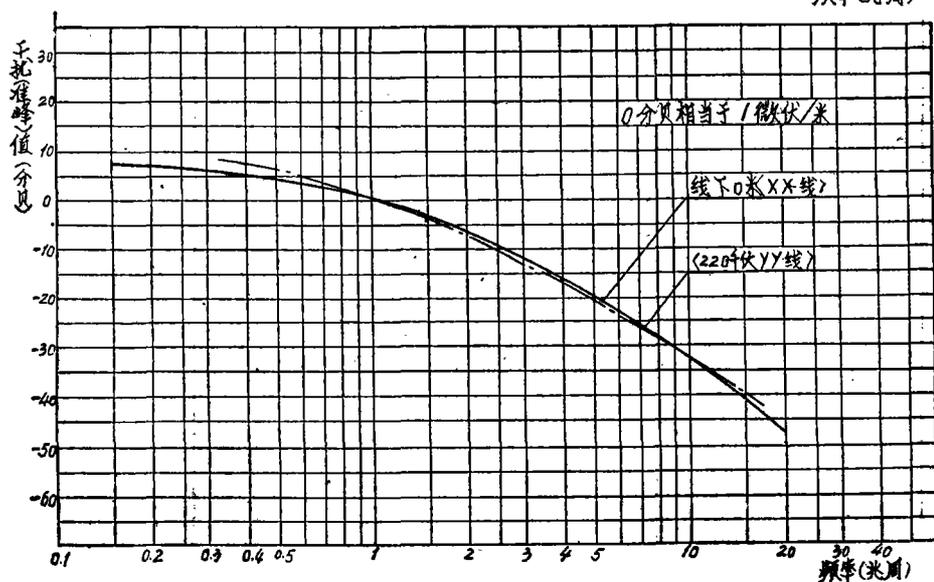


图 2

(表 1)

测量位置	测量时间	天气	频率 (兆周)		干扰值 (分贝)		0.3		0.4		0.5		0.8		1.0		2.0		3.0		4.0		5.0		7.0		8.0		10.0		12.0		15.0		
			平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	
边相导线地面投影处	76.7.21 13:00	晴~多云	68.6	66.4	67.9	65.3	66.2	61.7	62.6	52.2	48.0	42.2	40.3	35.8	30.4	25.8	21.7	20.8																	

(仪器型号: RR-2, 2米鞭状天线)

(2)

测量位置	测量时间	天气	频率 (兆周)		干扰值 (分贝)		0.5		0.89		1.07		1.49		2.5		4.0		7.58		10.7		14.8		17.8		22		26		28			
			平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值	平均值	峰值		
距边相导线地面投影15米	76.7.21 13:00~ 13:35	晴~多云	36	37.5	38	36.3	33	29.8	22.5	16.7	7.5	4.5	3.2	3.5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

(仪器型号: K-465, 2米鞭状天线)

3. 横向衰减特性:

为了掌握输电线对电子装置干扰的场强随着与线路距离的增加而衰减的规律, 以确定线路附近遭受干扰影响的范围, 我们测量了输电线干扰横向衰减特性。

测量时以挡距中央边相导线在地面上的投影为起点, 沿垂直于线路的方向进行。

测量记录及其衰减特性曲线分别见表 2 及图 3~图 6。

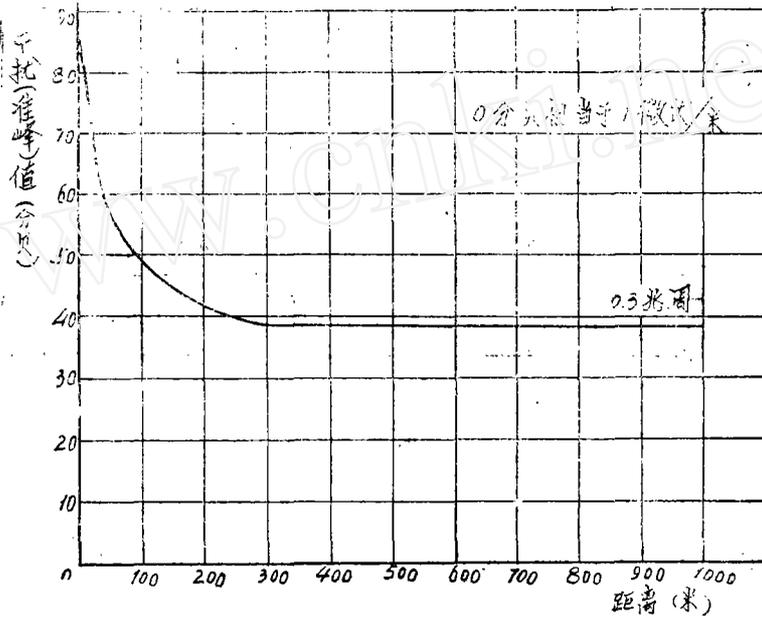


图 3

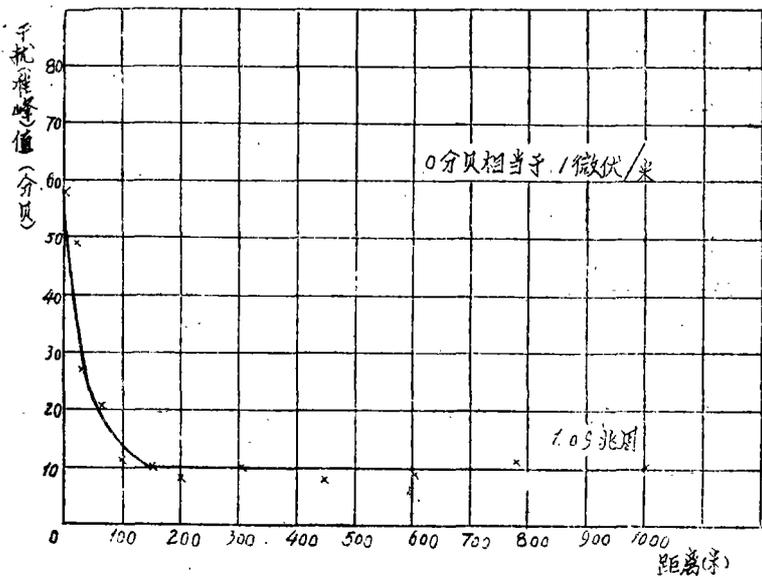


图 4

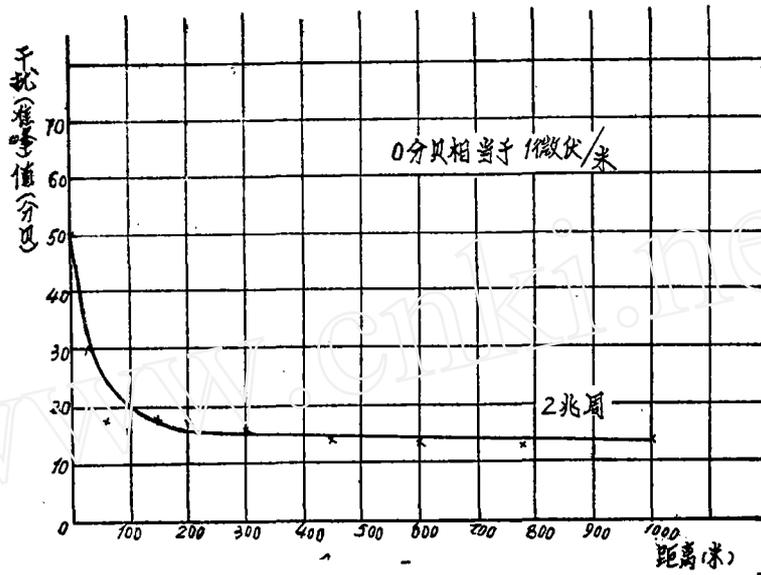


图 5

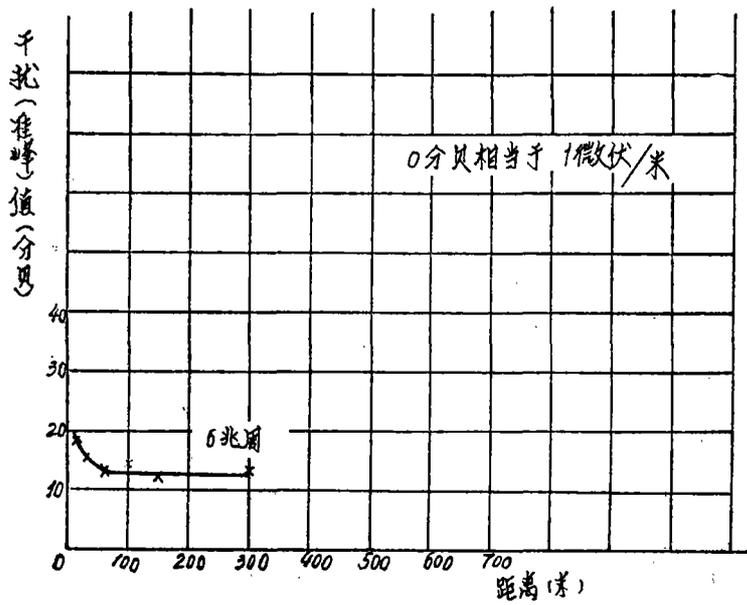


图 6

(表 2)

测量频率 (兆周)	测量时间	天气	距离 (米)		0	15	30	60	100	150	200	300	450	600	780	1000	备注
			干扰值 (分贝)	平均 峰值													
1.09	76.7.21	晴间 多云	39	29.5	18.5	9	4	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	K-485, 2米鞭状天线
	9: 15~10: 40		58	49	27	21	11.5	10	8	10	8	9	11	10			
0.3	76.7.21	晴间 多云	84	76.5	67	53.5	46.5	44.5	42	39							RR-2, 2米鞭状天线
	9: 15~10: 35																
2	76.7.21	晴间 多云	49.5	40.5	30.5	17.5	16	17.5	17.5	15.5	14	14	13	14			RR-2, 2米鞭状天线
	9: 15~10: 35																
2	76.7.20	晴间 多云		19	11.5	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0							K-484C, 1米鞭状天线
	13: 05~14: 20			30	22	15	11	11	12	11							
6.02	76.7.20	晴间 多云		15	11	11	11	19	11	10							K-484C, 1米鞭状天线
	14: 52~16: 00			21	18	17	17	21	17	16							
6	76.7.20	晴间 多云		12.2	11.2	10.2	11.2	9.2		10.2							RR-2, 2米鞭状天线
	15: 00			18.2	15.2	13.2	14.2	12.2		13.2							

4. 测试分析:

关于输电线对无线电的干扰,国内、外均进行了大量的试验研究工作,并推论和验证了有关规律和计算公式。我国为研究330千伏、500千伏超高压线路也曾在试验线段和110、220、330千伏线路上进行了一系列的测量试验。这次测试是在前述测试的基础上进行的。因此,尽管此次并非长期观测,但结合以往国、内外有关测试数据进行分析,还是能够说明问题的。

(1) 由图1可以看出,输电线对电子装置干扰的强度随着频率的增加而减小,尤其是在1兆周以上时,减小更为显著。这种规律与国内、外大量测试的结论是一致的。为了便于分析比较,我们在图2中同时给出了此次测试及68年220千伏Y-Y线测试之相对于1兆周的干扰值的曲线(以相对电平表示)。两者相差是甚微的。当频率由1兆周增到10兆周时,X-X线的干扰值约减少32分贝;1968年四部联合测试组测试的Y-Y线减少亦约32分贝,同时测试的Z-Z线、A-A线干扰值的减少亦在32~36分贝。图7是国际大电网会议无线电干扰委员会1968年总结报告中根据20条线路实测的频率特性求得的平均曲线。不难看出与我国测试之几条线路的频谱特性是较为相近的。由此可见输电线对无线电干扰的频率主要是中波段和部分短波段。

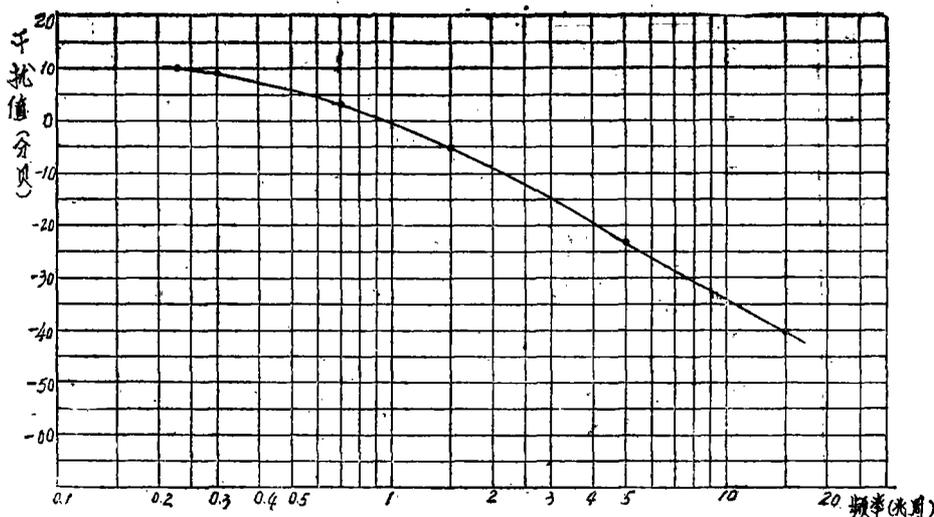


图7

对于高压输电线路电晕干扰随频率变化的规律,不少国家根据其试验研究,提出了计算公式。如加拿大的计算公式为:

$$\Delta N_f = 20 \lg \frac{C + 1}{C + f^2}$$

式中 ΔN_f 表示频率为 f 时相对于频率为1兆周时干扰值的变量。当 $f > 1$ 兆周时, $C = 1$;当 $f < 1$ 兆周时, $C = 0.5$ 。我们采用该公式计算了电晕干扰随频率变化的变量

(相对于 1 兆周), 并与 X—X 线实测变量 (见线下投影 15 米处的实测频谱特性曲线) 比较如表 3 及图 8。

由表 3、图 8 可见, X—X 线实测的频率特性与用加拿大公式的计算值是极为接近的。

(表 3)

频 率 (兆周)	0.3	0.5	2.0	4.0	7.0	10.0	15.0
$\Delta N_f = 20 \lg \frac{C+1}{C+f^2}$ (分贝)	8.1	6.02	-7.96	-18.6	-27.9	-34	-40.1
实 测 变 量 (分贝)	6.4	4.8	-7	-16.6	-25.6	-32.6	-40.6

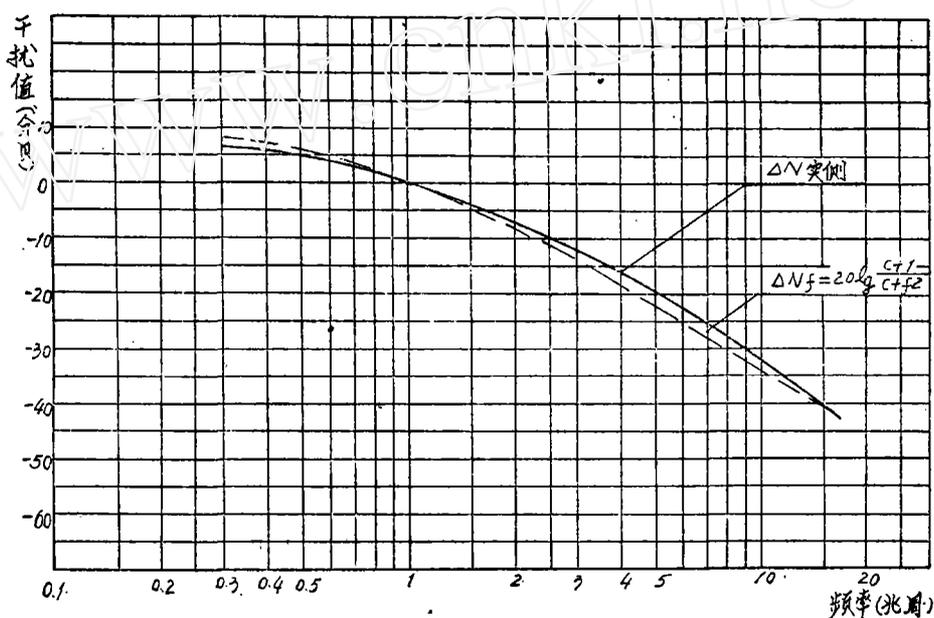


图 8

此外, 根据过去国内、外的测试, 雨天的干扰值一般来说是各种气候中最严重的, 而且往往可以由晴天的干扰值进行换算, 有的国家则是在晴好天气的干扰值上加上雨天增加的分贝数, 如德国增加 17 ± 3 分贝, 美国增加 24 分贝, 我国以往测试的雨天增加值约 20 分贝左右。这次测试鉴于雨天干扰值对晴天干扰值的增加已有规律, 而且捕捉雨天较为困难, 因此, 对雨天仅作了部分用以比较的测试, 其雨天的增加值也大致在 20 分贝左右。

(2) 从横向衰减特性测试情况可见, 输电线电晕干扰的强度随着离开输电线距离的增加而减弱, 特别是在距离输电线 100 米以内, 干扰强度衰减很快。当频率为 0.3 兆周时, 离开输电线 100 米的距离, 干扰电平衰减了约 36 分贝, 频率为 2 兆周时, 离开输电线 100 米约衰减 31 分贝, 频率为 1 兆周时, 衰减约 45 分贝 (该衰减量可能有所偏大)。

1968年四部联合测试组的测试中，当频率为1兆周时，距线路100米的衰减量，Z—Z线为33.7分贝，A—A线为38.4分贝，Y—Y线为32.9分贝。日本三条275千伏线路的实测衰减量约34分贝。综上所述，输电线电晕干扰在距离线路100米内衰减较快，幅度较大的规律是一致的。

此外，从四种不同频率的横向衰减实测结果可以看出，在离开输电线200~300米时，输电线的电晕干扰已衰减到接近背景干扰（即周围杂散干扰源如电车、电焊等的干扰）的水平了，此时，干扰特性曲线已较平直，说明这时存在的干扰，主要是背景干扰，因而单纯依靠加大与线路的距离来减少对电子装置的干扰强度，已起不到明显的作用了。

(3) 我们认为，研究输电线对电子装置的干扰，离不开输电线的干扰水平问题，如果不考虑输电线的无线电干扰水平而笼统地规定输电线与无线电台之间的距离是不科学的，甚至是没有意义的。因此，不少国家对高压输电线都规定一个允许的无线电干扰水平，一般是规定某一频率、某一位置的干扰允许值，由此，其他频率和其他距离的干扰电平可用已研究成熟的计算公式进行换算。我国目前尚没有高压输电线干扰水平的规定，但与国内、外的同等级的线路予以比较，对分析该线路对无线电干扰的程度是有益的。为了比较方便，我们采用频率为1兆周、距离边相导线地面投影15米处的干扰电平。

表4列出了此次X—X线测试及1968年四部联合测试组测试的几条220千伏线路的线电干扰电平，附录1摘录了一些国家的有关规定。由此比较可见，X—X线的干扰水平与国内220千伏输电线及一些国家的相应的干扰水平是基本相当的。

表(4)

线路名称	导线牌号 直径	导线表面电位梯度 (千伏有效值/厘米)	无线电干扰 电平(分贝)	备注
X—X线	LGJQ-300/23.5mm	17.3	48.5	
Z—Z线	LGJQ-300/23.5	17.3	44.5	
A—A线	LGJQ-300/23.5	17.3	45	
Y—Y线	LGJQ-300/23.5	17.3	52	

对于线路电晕的无线电干扰水平，有多种计算方法，可由计算求得，大多数国家是采用“比较法”进行计算的。所谓比较法是首先给出基准线路的干扰水平，将所设计的线路与基准线路进行比较，计算出不同条件所引起的修正值，就可求出设计线路的干扰水平。我们用德国的计算公式与测试值进行了比较。

$$N = 53.7 \pm 5 + K(E - 16.35) + 40 \lg \frac{d}{3.93} + \Delta N_s + 20 K_D \lg \frac{20}{D} + \Delta N_{FW}$$

式中:

K —750千伏时取3, 导线最大工作场强为15~19千伏/厘米的其他电压等级导线取3.5;

ΔN_s —单根导线取-4分贝, $n > 1$ 时取 $\Delta N_s = 10 \lg \frac{n}{4}$;

K_D —频率为0.5~1兆周时取 1.6 ± 0.1 ;

ΔN_{FW} —好天时为0, 雨天取 17 ± 3 分贝。

基准干扰水平是用直径为3.93厘米的分裂导线、导线表面最大工作场强为16.36千伏/厘米时, 在距边相导线20米处测得, 为50%干扰值。

将X—X线的计算条件代入上式

$$K(E - 16.35) = 3.5(17.3 - 16.35) = 3.33,$$

$$40 \lg \frac{d}{3.93} = 40 \lg \frac{2.35}{3.93} = -8.92,$$

$$20 K_D \lg \frac{20}{D} = 20 \times 1.6 \lg \frac{20}{18.6} = 1.02,$$

则X—X线晴好天气距边相导线地面投影16米处的干扰计算值为

$$N = 53.7 \pm 5 + 3.33 - 8.92 - 4 + 1.02 = 45.13 \pm 5 \text{ 分贝}$$

这与实测值也是颇为相近的。

附录1 超高压线路无线电干扰水平的有关规定

国家	线路电压(千伏)	额定干扰值			仪器型号	备注
		允许水平 微伏/米(分贝)	距离 (米)	频率 (兆周)		
加拿大		50 (34)	线下	0.54~1.6	标准NW20型, 鞭状天线, 离地高1.2米	50微伏/米为每平方哩 住户大于50户的地区, 150微伏/米为每平方哩 住户小于10户的地区
	150 (43.5)					
捷克		100 (40)	收为公有的线路走廊 廊加30米	0.5	按CISPR (STMG —3800) 矩形天线, 天线 中心离地1.5米	每年超过允许值的时间 少于1700小时
日本	高于7KV 的配电系统 275~500	100 (40)	10	0.53~1.605	日本标准	
		1000(雨下)	10	1	日本标准	
瑞士	<100 >150	50 (34)	20	0.5	按CISPR 矩形天线	好天气, 温度高于 10°C时
		250 (48)	20	0.5		
苏联	所有高压线	100 (40)	低于220千伏时50 米; 高于220千伏 时100米	0.15~0.5	M——12—2 M鞭状天线 高1.6~1.7米	
		50 (34)		0.5~2.5		
		20 (26)		2.5~20		
		10 (20)		20~400		
法国		100 (40)	好天气50米; 坏天气100米	1	Ferris—32A (法国产)	
		50 (34)		1		
意大利		55 (35)	人口密度高时30 米; 密度低时70米	0.5	按CISPR	
		15 (24)		1		
		4 (平均值)(12)		1		
		50(极限值)(34)		1		
美国	35~220 345~735 500	100(极限值)(40)	30.5	1	Ferris—32A (美国产)	
		10 (20)	100	1		
德国		10 (20)	100	1	STMG—3800	