

直流线路与短波无线电收信台防护间距取值研究

刘翰柱, 马昆麟, 余霞, 王盈祥, 魏德军

中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都

收稿日期: 2022年2月25日; 录用日期: 2022年3月9日; 发布日期: 2022年4月14日

摘要

现行相关标准对直流架空输电线路与短波无线电收信台的防护间距尚无规定, 但该防护间距的取值问题在直流线路设计中经常遇到并亟需解决。根据直流线路的无线电干扰特性及水平、短波收信台的工作特性及电磁兼容能力, 提出直流线路的防护间距值可根据直流线路无线电干扰水平参照交流线路考虑。基于防护间距计算值, 结合相关科研成果及工程实践经验, 给出了 ± 400 kV~ ± 800 kV直流线路与短波收信台的防护间距值, 为直流线路对短波收信台干扰影响的防护设计及制订相关标准提供了技术支撑。

关键词

直流线路, 无线电干扰, 短波收信台, 防护间距

Research on the Value of Protection Distance between DC Lines and Short-Wave Radio Receiver

Hanzhu Liu, Kunlin Ma, Xia Yu, Yingxiang Wang, Dejun Wei

Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 25th, 2022; accepted: Mar. 9th, 2022; published: Apr. 14th, 2022

Abstract

The current relevant standards have no regulations on the protection distance between DC overhead transmission lines and short-wave radio receiver, but the value of the protection distance is

文章引用: 刘翰柱, 马昆麟, 余霞, 王盈祥, 魏德军. 直流线路与短波无线电收信台防护间距取值研究[J]. 电力与能源进展, 2022, 10(2): 31-37. DOI: 10.12677/aepe.2022.102005

often encountered in the design of DC lines and needs to be solved urgently. According to the radio interference characteristics and level of the DC lines, the working characteristics of the short-wave receiver and the electromagnetic compatibility capability, it is proposed that the protection interval value of the DC line can be considered based on the radio interference level of the DC line with reference to the AC line. Based on the calculated value of the protection distance, combined with relevant scientific research results and engineering practice experience, the protection distance value of ± 400 kV~ ± 800 kV DC line and short-wave receiver is given. It has provided technical support for the protection design of DC lines interference to short-wave receiver interference and the revision of relevant standards.

Keywords

DC lines, Radio Interference, Short-Wave Receiver, Protection Distance

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着直流线路不断建设,相关无线电设施越来越多,直流线路对短波收信台的干扰影响问题时有发生。关于输电线路与短波收信台的防护间距,目前国内相关标准仅对 110 kV~1000 kV 交流线路有明确规定,对直流线路尚无规定。

根据直流线路的无线电干扰特性、干扰水平、无线电背景噪声水平,结合短波收信台的工作特性、电磁兼容能力、防护要求,参照交流线路现行标准、相关科研成果及工程经验,经计算、分析,给出了 ± 400 kV~ ± 800 kV 直流线路与短波收信台的防护间距值,为直流线路对短波收信台干扰影响的防护设计提供了技术支撑。

本文提出的 ± 400 kV~ ± 800 kV 直流线路与短波收信台的防护间距值已被新编制的《直流架空输电线路对无线电台影响防护设计规范》DL/T 5536-2017 电力行业标准采纳。

2. 直流线路的无线电干扰

2.1. 无线电干扰特性

与交流线路一样,直流线路的无线电干扰主要由导线、绝缘子、金具表面电晕放电及绝缘子、金具火花放电等引起,其中,导线表面电晕起主要作用。导线表面电晕与导线表面电场强度、光洁度、结构、运行时间、空气密度及雨、雪、雾、水汽、尘埃等情况有关,导线表面场强越高、光洁度越低、结构越松散、运行时间越短、海拔越高,电晕越严重,无线电干扰电平越大。

直流线路导线表面电晕产生的无线电干扰频率主要集中在中、短波频段,火花放电产生的无线电干扰频率主要在超短波频段;无线电干扰电平随频率增加而降低,在 30 MHz 以上频段基本与背景噪声处于同一水平[1]。

另外,无线电干扰电平还与距离、短波收信台工作频率、置信度等因素有关。距离越远、频率越高、置信度越低,无线电干扰电平越小。

与交流线路不同的是直流线路导线周围有稳定的电离层,导线和地面以及导线与导线之间建立有空

间电荷,起到了部分屏蔽作用,降低了靠近导线的电场强度;直流线路导线表面电晕放电产生的电子将从负极导线向正极导线定向移动[2]。直流线路的无线电干扰电平双极导线比单根正极导线低至少 6 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [2] [3] [4]。雨天比晴天低,一般情况约低 3 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [3] [4],最大可达低 10 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [2]。正极导线比负极导线高约 6 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [3] [4]。在同等强度下,直流噪声的主观影响评价比交流线路小,对在 CISPR 测量接收器上的特定读数,直流线路可比交流线路低约 10 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [2]。总体上,直流线路对短波收音台的无线电干扰影响比交流线路低。

2.2. 无线电干扰水平

1) 无线电干扰限值

直流线路正极导线对地投影外 20 m 处、离地 2 m 高、频率为 0.5 MHz、80%时间、80%置信度的无线电干扰限值均为 58 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [5] [6],好天气条件下的测量值不宜大于 55 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [7]。

2) 无线电干扰计算值

直流线路不同电压等级、不同组合导线、距边导线投影外 20 m 处、离地 2 m 高、频率为 0.5 MHz、好天气的无线电干扰平均值计算值见下表 1。

Table 1. Calculated value of radio interference [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

表 1. 无线电干扰计算值[dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

电压等级	导线组合	无线电干扰
± 400 kV	$4 \times \text{LGJ-400/35}$	41.5
± 500 kV	$4 \times \text{LGJ-400/35}$	48.11
	$4 \times \text{LGJ-720/50}$	45.27
± 660 kV	$4 \times \text{LGJ-1000/45}$	49.88
	$6 \times \text{LGJ-630/45}$	43.67
± 800 kV	$6 \times \text{JGJ-720/50}$	46.91
	$6 \times \text{LGJ-900/75}$	46.38

注: 双 80%值比 50%值高约 3 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [4] [8]。

3) 无线电干扰实测值

根据对国内已建 ± 400 kV 青藏、 ± 500 kV 德宝、天广和贵广、 ± 660 kV 宁山、 ± 800 kV 向上、锦苏等直流线路的无线电干扰实测统计成果,距正极导线投影外 20 m 处、频率 0.5 MHz、好天气的无线电干扰平均值见下表 2。

Table 2. Measured value of radio interference [1] [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

表 2. 无线电干扰实测值[1] [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

电压等级	无线电干扰	备注
± 400 kV	47.1	青藏(导线 4×400 , 海拔 3500 m~4500 m)
± 500 kV	47.5	德宝 41.8 (导线 4×720)、天广 47.5 (导线 4×400)、贵广 46.3 (导线 4×720)
± 660 kV	49.6	宁山(导线 4×1000)
± 800 kV	48.8	向上 48.8 (导线 6×720)、锦苏 46.5 (导线 6×900)

注: 表中各电压等级的无线电干扰为不同工程中的最大值。

雨天比好天气低, 30 MHz 以上频段的无线电干扰水平基本与背景噪声处于同一水平[1]。

实测的频率特性、横向衰减特性、海拔修正特性与 CISPR 标准曲线基本符合[1]。

4) 无线电干扰水平分析

根据计算结果, ± 400 kV、 ± 500 kV、 ± 660 kV、 ± 800 kV 直流线路的无线电干扰计算值分别低于限值约 13 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、7 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、5 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、8 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)以上; 根据实测结果, 直流线路的无线电干扰实测值分别低于限值约 8 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、7 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、5 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、6 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)。

随着大截面导线的应用、加工工艺的改进、施工及运维水平的提高, 直流线路的无线电干扰将会进一步降低。

3. 短波收信台工作特性及电磁兼容要求

短波收信台的工作频率一般在 1.5 MHz~30 MHz 频段内, 通常分为三级, 各级允许的背景噪声增量见下表 3。

Table 3. Allowable background noise increment for shortwave receivers [9] [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

表 3. 短波收信台允许背景噪声增量[9] [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]

序号	允许背景噪声增量
1	0.5
2	1.0
3	1.5

4. 防护间距计算值

输电线路与无线电设施的防护间距计算一般有最低可用信号保护计算法和控制背景噪声计算法两种, 后一种比较适合短波收信台的情况[10], 其主要影响因素是短波收信台的允许背景噪声增量, 不涉及其它特性参数, 易于工程计算, 故本文采用控制背景噪声计算法进行计算。由于直流线路的无线电干扰电平雨天比晴天低, 因此, 在计算直流线路与短波收信台的防护间距时, 可不需考虑雨天增量。

直流线路与短波收信台的防护间距可按下式(1)计算:

$$D_p = 10^{\left[\frac{E_{01} + \Delta E_f - N_{01} - 10 \lg(10^{0.1 \Delta N_{01}} - 1)}{20} \right] + 0.85} \quad (1)$$

式中: D_p 为防护间距(m); E_{01} 为直流线路正极导线对地投影外侧 20 m、离地 2 m 高处、频率为 0.5 MHz 的无线电干扰基准电平[dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]; ΔE_f 为直流线路无线电干扰的频率修正值[dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]; N_{01} 为直流线路架设前的无线电背景噪声[dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]; ΔN_{01} 为短波收信台允许背景噪声增量[dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]。

各电压等级直流线路的 E_{01} 按限值 58 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)折算到基准值考虑, N_{01} 按 12 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) [9]取值, 工作频率为 1.5 MHz 时, 直流线路与短波收信台的防护间距计算值见下表 4。

Table 4. Calculated value one of protection distance (m)

表 4. 防护间距计算值一(m)

短波收信台等级	一级	二级	三级
防护间距	1036	711	563

各电压等级直流线路的 E_{01} 值按相应计算值、实测值的较大者考虑时, 直流线路与短波收信台的防护间距计算值见下表 5。

Table 5. Calculated value two of protection distance (m)**表 5.** 防护间距计算值二(m)

电压等级	E_{01} [dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)]	短波收信台等级		
		一级	二级	三级
± 400 kV	47.1	417	286	227
± 500 kV	48.11	468	322	255
± 660 kV	49.88	574	394	312
± 800 kV	48.8	507	348	276

5. 防护间距的取值

1) 取值原则

以防护间距计算值为基础, 参照科研成果、实际工程应用情况, 对比交流线路相关标准并与之相协调, 按照安全可靠、经济合理、技术先进适用的原则确定防护间距。

2) 取值分析

① 现行 DL/T 5040-2017《交流架空输电线路对无线电台影响防护设计规范》规定了 110 kV~1000 kV 交流线路与短波收信台的防护间距, 交流线路的防护间距相关部门认可, 长期工程实践表明可行、可靠, 直流线路对短波收信台的干扰影响机理与交流线路相同, 因此, 直流线路的防护间距可根据直流线路的无线电干扰水平参照交流线路考虑, 见下表 6。

Table 6. The value of protection distance between DC lines and short-wave radio receiver (m) [11]**表 6.** 交流线路与短波收信台的防护间距值(m) [11]

电压等级	短波收信台等级	一级	二级	三级
		110 kV	1000	600
220 kV、330 kV		1600	800	600
500 kV		2000	1100	700
750 kV、1000 kV		2600	1600	1000

② ± 400 kV~ ± 800 kV 直流线路无线电干扰限值为 58 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) (相当于好天气平均值 55 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)), 直流线路雨天增量为负值, 因此可不考虑雨天增量, 而 110 kV、220 kV 交流线路的无线电干扰限值(双 80%值)分别为 46 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、53 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$), 考虑相对于限值的雨天增量 5 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)~9 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)后, 分别相当于 51 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)~55 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)、58 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)~62 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)。可见, 直流线路的无线电干扰水平介于 110 kV、220 kV 交流线路之间。

③ 从直流线路无线电干扰限值计算的防护间距介于 110 kV 与 220 kV 交流线路之间; 根据 ± 400 kV~ ± 800 kV 直流线路无线电干扰计算值、实测值中较大者计算的防护间距均小于 110 kV 交流线路, 其中 ± 400 kV、 ± 500 kV 直流线路比 ± 660 kV、 ± 800 kV 直流线路小。

④ 相关研究成果建议 ± 800 kV 直流线路采用 500 kV 交流线路的防护间距。

⑤ 实际工程中, 贵广等 ± 500 kV 直流线路直接参照采用 500 kV 交流线路防护间距值, 云广、向上、锦苏、哈郑、溪浙、酒湖、晋江、锡泰、上山、扎青、新东等 ± 800 kV 直流线路采用了相关科研成果建议值, 即 500 kV 交流线路防护间距值。

从工程应用情况看, ± 800 kV 直流线路的防护间距与 500 kV 交流线路一致是较合适、可靠、可行并有一定裕度的; ± 500 kV 直流线路与 500 kV 交流线路一致的裕度过大, 可按 220 kV 交流线路考虑; ± 660 kV 直流线路的防护间距往更严格方面靠, 即可按 ± 800 kV 直流线路考虑; ± 400 kV 直流线路无线电干扰水平比 ± 500 kV 直流线路更低, 其防护间距可按 ± 500 kV 直流线路考虑。

综上, 虽然 ± 400 kV~ ± 800 kV 直流线路的无线电干扰限值相同, 但电压跨度大, 从计算值或实测结果看, 无线电干扰水平与电压等级也有一定关联, 电压等级低无线电干扰水平亦较低, 电压等级高无线电干扰亦较高。无线电设施相关部门也认同如交流线路一样, 不同电压等级之间存在差异的情况。故参照交流线路根据电压等级对防护间距加以区分的情况, 直流线路与短波收信台的防护间距建议按 ± 400 kV、 ± 500 kV 及 ± 660 kV、 ± 800 kV 两档分别参照 220 kV、500 kV 交流线路取值, 取值结果见下表 7。

Table 7. Value of protection distance (m)

表 7. 防护间距值(m)

电压等级	短波收信台等级		
	一级	二级	三级
± 400 kV、 ± 500 kV	1600	800	600
± 660 kV、 ± 800 kV	2000	1100	700

6. 结论

1) 相关标准规定的交流线路与短波收信台的防护间距相关部门认可, 长期工程实践表明可行、可靠, 因此, 直流线路的防护间距可根据直流线路的无线电干扰水平参照交流线路考虑。

2) 按直流线路无线电干扰限值计算的防护间距介于 110 kV 与 220 kV 交流线路之间, 按直流线路无线电干扰计算值与实测值中较大者计算的防护间距均小于 110 kV 交流线路, 其中 ± 400 kV、 ± 500 kV 直流线路比 ± 660 kV、 ± 800 kV 直流线路小。

3) ± 800 kV 直流线路的防护间距按 500 kV 交流线路考虑是可靠、合适、可行并有一定裕度的; ± 500 kV 直流线路的防护间距按 500 kV 交流线路考虑的裕度太大, 按 220 kV 交流线路考虑较合适; ± 400 kV、 ± 660 kV 直流线路的防护间距往严格方面考虑, 分别与 ± 500 kV、 ± 800 kV 直流线路相同。即直流线路与一级、二级、三级短波收信台的防护间距值按 ± 400 kV、 ± 500 kV 及 ± 660 kV、 ± 800 kV 两档分别取为 1600 m、800 m、600 m 和 2000 m、1100 m、700 m。

4) 实际工程中, 当直流线路与短波收信台的距离的确难以满足防护间距值时, 可根据具体情况, 通过计算或测试评估实际影响并协商处理。

基金项目

国家能源局行业标准制(修)订项目(20140613)。

参考文献

- [1] 刘兴发. 直流架空输电线路无线电干扰水平测试分析[R]. 武汉: 中国电力科学研究, 2016: 8-40.
- [2] (2010) Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High—Voltage Equipment. Part 1: Description of Phenomena. 30-32. <https://webstore.iec.ch/publication/66#additionalinfo>
- [3] 赵晔君. 高压直流输电工程技术(第二版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 276.
- [4] 谢国恩. 高压直流输电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2017: 910.
- [5] 中国电力企业联合会, 等. GB 50790-2013. ± 800 kV 直流架空输电线路设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013: 10.

-
- [6] 中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 等. DL 5497-2015. 高压直流架空输电线路设计技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015: 11.
- [7] 南方电网技术研究中心, 国网武汉高压研究院. DL/T 1088-2008. ± 800 kV 特高压直流线路电磁环境参数限值[S]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [8] 郭剑, 陆家榆, 韩辉, 赵鹏. ± 800 kV 极导线水平排列单回直流线路无线电干扰和可听噪声试验研究[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 2009.
- [9] 工业和信息化部电信研究院, 国家无线电监测中心. GB 13614-2012. 短波无线电收信台(站)及测向台(站)电磁环境要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [10] 朱锦生. 高压架空输电线对短波无线电测向、收信台(站)的影响[C]//中国电机工程学会. 电磁干扰学术会议论文集. 珠海: 中国电机工程学会无线电干扰专委会, 2008: 3.
- [11] 西南电力设计院, 等. DL/T 5040-2017. 交流架空输电线路对无线电台影响防护设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.