

电气与电子工程技术丛书



TEGAOYA SHUDIANXIANLU  
WUYUANGANRAO DE JIBENLILUN YU FANGFA

# 特高压输电线路 无源干扰的基本理论与方法

唐波 张建功 陈彬 著



科学出版社

电气与电子工程技术丛书

# 特高压输电线路 无源干扰的基本理论与方法

唐 波 张建功 陈 彬 著

国家自然科学基金项目

特高压输电线路无源干扰谐振机理及其分析模型研究

(51307098)

科学出版社

北京

# 版权所有，侵权必究

举报电话：010-64030229, 010-64034315, 13501151303

## 内 容 简 介

本书针对我国当前特高压输电线路工程建设中遇到的，特高压输电线路对各类无线电台站的无源干扰问题，系统性归纳总结了当前特高压输电线路无源干扰的基本理论与防护方法，对特高压输电线路无源干扰的形成机理、理论模型、计算方法、干扰谐振现象以及防护技术进行较为全面的阐述。本书是当前国内第一本系统性阐述特高压输电线路无源干扰问题的中文读本，特别提出了基于广义谐振理论解决特高压线路无源干扰谐振频率预测问题，拓展了 IEEE 标准的频率预测范围。

本书可以作为电气工程专业的研究生教材，也可供相关专业的研究生、科研人员和工程技术人员，以及电网公司特高压工程建设者参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

特高压输电线路无源干扰的基本理论与方法 / 唐波, 张建功, 陈彬著. —北京: 科学出版社, 2018.11

(电气与电子工程技术丛书)

ISBN 978-7-03-059746-5

I. ①特… II. ①唐… ②张… ③陈… III. ①特高压输电-输电线路-干扰-基本知识 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 261811 号

责任编辑：吉正霞 / 责任校对：董艳辉

责任印制：彭超 / 封面设计：苏波

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 11 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张：12 1/4

字数：285 000

定价：68.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

随着科学技术和社会生活水平的发展,各种对周边电磁环境要求越来越高的电子产品和弱电系统大量涌现,电力系统对其周边环境的电磁干扰也越来越突出。为此,在当前特高压输电线路的规划、设计和建设中,如何规避线路对邻近无线电台站的电磁干扰,已成为困扰特高压线路路径选择的重要问题。

长期以来,国内诸多专家学者一直认为输电线路对邻近无线电台站所产生的电磁干扰,就是指输电导线或金具电晕或者电火花产生脉冲电磁波,对线路邻近的无线电子设施正常工作产生干扰影响,也即传统意义上的输电线路无线电干扰。然而,随着我国输电线路电压等级的提高,线路铁塔及金具等结构变得更为高大,国内特高压输电线路在外界电磁波激励下被动产生的二次辐射对邻近无线电台站干扰问题也开始显著起来,这种无线电干扰定义为无源干扰。因此,特高压输电线路对无线电台站的无源干扰问题才被提出、重视,并持续研究至今。

本书由三峡大学、中国电力科学研究院(武汉分院)的科学研究人员针对我国特高压工程建设过程中出现的输电线路无源干扰问题,经过长期上下求索和艰辛付出的工作之后编著完成。本书在系统性论述特高压输电线路无源干扰的产生机理、求解算法、试验技术,以及干扰的防护和抑制措施之上,以电磁场数值计算为基础,深入研究了适用于各频段的特高压输电线路无源干扰求解模型,构建了广域空间下输电线路无源干扰与多天线系统的广义谐振特性及其电磁能量分析理论与方法的科学研究体系,为我国特高压输电线路建设的路径选择与无线电台站健康运行提供科技支撑。全书共分为6章。第1章简要介绍了特高压输电线路无源干扰的产生背景及相关概念;第2章介绍了特高压输电线路无源干扰分析中涉及的电磁场及其数值计算理论知识;第3章论述了适用于各频段的特高压输电线路无源干扰计算用模型及其算法;第4章论述了特高压输电线路无源干扰谐振现象及谐振频率的预测方法;第5章介绍了我国开展的数次特高压输电线路无源干扰缩比模型试验技术;第6章介绍了当前提出的特高压输电线路无源干扰水平抑制方法。

本书由三峡大学唐波、陈彬,以及中国电力科学研究院张建功撰写,中国电力科学院研究院干喆渊、刘兴发,三峡大学黄力、王爽、袁发庭、林奇祥参与资料整理。

最后,作者想以诗经中的“嘤其鸣矣,求其友声”作为结语。本书应该是我特高压输电线路无源干扰的第一本科学研究著作,初步解决了无源干扰研究类书籍的有无问题。但由于作者能力水平有限,本书中疏漏或不当之处在所难免,在此衷心期望各界同行不吝指教,直言批评,对书中的内容提出修改建议,以期后续更好地服务于我国特高压输电线路以及各类无线电台站的工程建设。

作者

2018年6月28日于宜昌三峡大学

## 第1章 绪论 /1

- 1.1 我国特高压工程建设现状 /2
- 1.2 各类无线电台站及相关国家标准 /4
  - 1.2.1 调幅广播电台 /4
  - 1.2.2 短波无线电测向、收信台站 /5
  - 1.2.3 电视差转台、转播台站 /7
  - 1.2.4 中波航空无线电导航台 /7
  - 1.2.5 对海远程无线电导航台和监测站 /8
  - 1.2.6 对空情报雷达站 /9
  - 1.2.7 地震台站 /10
- 1.3 特高压输电线路对无线电台站干扰的表现形式 /10
  - 1.3.1 特高压输电线路的有源干扰 /11
  - 1.3.2 特高压输电线路的无源干扰 /12
- 1.4 特高压输电线路无源干扰的关键技术问题 /13
- 参考文献 /17

## 第2章 特高压输电线路无源干扰的电磁散射理论 /18

- 2.1 电磁散射基础 /19
  - 2.1.1 麦克斯韦方程组 /19
  - 2.1.2 坡印亭矢量 /21
  - 2.1.3 矢量位和标量位 /22
  - 2.1.4 雷达目标散射截面 /23
- 2.2 电磁散射的电场积分方程 /25
  - 2.2.1 格林函数 /25
  - 2.2.2 电场积分方程 /29
- 2.3 电场积分方程的求解算法 /31
  - 2.3.1 矩量法 /31
  - 2.3.2 高频近似算法 /33
  - 2.3.3 数值分析中的高效算法 /36
- 参考文献 /40

<b>第3章 特高压输电线路无源干扰的数学求解</b>	<b>41</b>
3.1 无源干扰的产生机理	42
3.2 无源干扰的电磁散射积分方程	43
3.3 无源干扰的数学模型	45
3.3.1 无源干扰求解的线模型	45
3.3.2 无源干扰求解的面模型	52
3.3.3 无源干扰求解的线面混合模型	56
3.4 无源干扰的矩量法求解	59
3.4.1 矩量法及计算实例	59
3.4.2 矩量法的计算资源	59
3.5 无源干扰水平的高频近似算法	60
3.5.1 IPO 算法及计算实例	60
3.5.2 LE-PO 法及计算实例	67
3.5.3 UTD 法及计算实例	73
参考文献	80
<b>第4章 特高压输电线路无源干扰的谐振现象及其预测</b>	<b>82</b>
4.1 无源干扰的谐振现象	83
4.2 IEEE 的谐振预测方法	83
4.2.1 基于半波天线的谐振频率预测	83
4.2.2 IEEE 预测方法的实例及其局限性	84
4.3 基于广义谐振理论的无源干扰谐振预测	92
4.3.1 广义谐振理论	92
4.3.2 特高压输电线路无源干扰的广义电磁开放系统	94
4.3.3 广义谐振因子及其求解	99
4.4 广义谐振理论的进一步应用	100
4.4.1 MBPE 技术及其在无源干扰水平求解的应用	100
4.4.2 自适应采样点算法的应用	114
参考文献	121
<b>第5章 特高压输电线路无源干扰的测量方法与实例</b>	<b>122</b>
5.1 缩比模型的理论基础	123
5.2 基于缩比模型的无源干扰测量方法	124
5.2.1 测量场地	124
5.2.2 测量用仪器	126
5.3 测量示例及分析	129

5.3.1	北京康西草原无源干扰缩比模型试验	/129
5.3.2	对短波无线电测向台(站)影响测试试验	/133
5.3.3	电波暗室与开阔场的缩比模型实验	/142
	参考文献	/154
<b>第6章</b>	<b>特高压输电线路无源干扰的抑制技术</b>	<b>/156</b>
6.1	特高压输电线路无源干扰的防护间距	/157
6.1.1	传统防护间距的计算方法	/157
6.1.2	建议的防护间距求解方法	/158
6.1.3	无源干扰防护间距的求解算例	/161
6.2	特高压输电线路无源干扰的抑制措施	/164
6.2.1	短波频段无源干扰的磁环抑制	/164
6.2.2	无源干扰谐振的解谐方法	/172
	参考文献	/179
	附录	/181





# 第 1 章

## 绪 论



## 1.1 我国特高压工程建设现状

从第二次工业革命开始,人类步入了电气时代,自此,电能成为应用最广泛的能源,成为支撑起人类现代文明的基石之一。如今可以说输送电能的输电线路延伸到哪里,现代文明就能走到哪里。然而,在输电过程中,导线电阻产生的电能损耗随着输送能量的不断增大、输送距离的不断延长也在不断增加,造成能源和经济的损失。为提高线路的输电能力和经济性能,世界电网的电压等级也在不断提高。目前,以特高压为代表的超远距离、超大规模输电技术,是全球输电技术中的制高点,更是清洁能源大发展的必要支撑。

以特高压 $\pm 800$  kV 直流输电项目为例,相较于 $\pm 500$  kV 直流工程,它的输送容量提高到2~3倍,经济输送距离提高到2~2.5倍,运行可靠性提高了8倍,单位输送距离损耗降低了45%,单位容量线路走廊占地减小30%,单位容量造价降低28%。

20世纪60年代以来,美国、苏联、意大利、日本等国家先后开展了特高压输电技术的研究。如20世纪80年代苏联建设的1900 km长的1150 kV交流线路,90年代日本建设的427 km长的1000 kV同塔双回线路等。

我国对特高压技术的跟踪研究始于20世纪80年代,从2004年底开始集中开展大规模的研究论证、技术攻关和工程实践。经过各方面共同努力,我国特高压输电技术发展不断取得突破,先后建成、投运了特高压交流试验示范工程、特高压直流示范工程并持续安全稳定的运行,这标志着我国特高压技术已经成熟。自此中国先后规划、建设了多条国特高压线路,截至2017年11月,中国已建成和投运总长超过20 000 km的特高压输电骨干网架。

中国已投运及在建的1000 kV特高压交流输电工程基本情况见表1.1。

表 1.1 中国已投运及在建的1000 kV特高压交流输电工程

工程名称	容量/MVA	导线/mm <sup>2</sup>	线路长度/km	投运时间或计划投运时间
晋东南—南阳—荆门	18 000	8×500	640	2009
淮南—浙北—上海	21 000	8×630	2×648.7	2013
浙北—福州	18 000	8×500 8×630	2×603	2014
淮南—南京—上海	12 000	8×630	2×780	2016
锡林郭勒盟—山东	15 000	8×630	2×730	2016
蒙西—天津南	24 000	8×630	2×616	2016
榆横—潍坊	15 000	8×630	2×1049	2017
锡林郭勒盟—胜利	6000	8×630	2×240	2017
北京西—石家庄	15 000	8×630	2×228	2018

第一条 1000 kV 交流输变电工程：晋东南—南阳—荆门试验示范工程于 2009 年投运，2011 年完成扩建工程，该工程为单回线路，最大输送功率达到 5720 MW。安装了世界上首套特高压串补装置，串补装置的额定电流为 5080 A，额定容量为 1500 MVA。该工程至今已安全运行 8 年，发挥了在华北电网和华中电网之间水火调剂、优势互补的作用，实现了电网资源的优化配置。中国已投运及在建的  $\pm 800$  kV 特高压直流工程基本情况见表 1.2。

表 1.2 中国已投运及在建的  $\pm 800$  kV 特高压直流输电工程

工程名称	容量/MVA	导线/mm <sup>2</sup>	线路长度/km	投运时间或计划投运时间
云南—广东	5000	6×630	1373	2010
向家坝—上海	6400	6×720	1907	2010
锦屏—苏南	7200	6×900	2059	2012
普洱—江门	5000	6×630	1413	2013
哈密南—郑州	8000	6×1000	2210	2014
溪洛渡—浙西	8000	6×900	1680	2014
灵州—绍兴	8000	6×1250	1720	2016
滇西北—广东	5000	6×900	1928	2017
酒泉—湖南	8000	6×1250	2383	2017
晋北—南京	8000	6×1250	1119	2017
锡林郭勒盟—泰州	10 000	6×1250	1620	2017
扎鲁特—青州	10 000	6×1250	1620	2017
上海庙—山东	10 000	8×1250	1238	2017

$\pm 800$  kV 特高压直流示范工程中云南—广东及向家坝—上海直流输电工程均于 2010 年建成投运，将西南地区的水电直接送到东部沿海地区的用电负荷中心。这是当时世界上输送容量最大、送电距离最远、技术水平最先进、电压等级最高的直流输电工程。

近 5 年，中东部 16 个省份近九亿人用上了来自西部的清洁能源；同时，每一年中东部地区减少烧煤  $9500 \times 10^4$  t，这相当于四川省一年的煤炭消耗量。减少的煤炭消耗量意味着更清洁的环境、更绿色的发展和更高效的能源利用。作为中国能源革命战略部署以及全国能源互联网建设中的重要一环，中国特高压技术正在引领我国加速能源革命。

由此可见，越来越多的特高压输电线路将出现在祖国大地上，也势必对线路周边各类使用电子产品或弱电系统的无线电台站（包括调幅广播台站、短波无线电测向和收信台站、电视差转和转播台、中波航空无线电导航台站、对海中远程无线电导航台、对空情报雷达站、无线基站、地震台和卫星地球站等）造成更大的电磁干扰。

## 1.2 各类无线电台站及相关国家标准

当前,我国关于各类无线电台站与输电线路之间防护间距的国家标准大多数为 20 世纪末或 21 世纪初制定的,涉及的线路电压等级普遍为 500 kV,只有《对海远程无线电导航台和监测站》考虑了 1000 kV 的输电线路。考虑到这些无线电台站对自身周边的干扰源和金属障碍物有着严格的限制,以及我国土地资源稀缺又决定了特高压输电线路走廊选择的有限。因此,研究特高压输电线路对邻近无线电台站的电磁干扰机理,确定线路与各类无线电台站之间的防护间距及可采取的防护措施,为特高压输电线路及各类无线电台站的设计规范提供技术支持,是目前迫切需要解决的工程实际问题。

### 1.2.1 调幅广播电台

根据工作任务的性质,调幅广播电台可分为调幅广播收音台和广播电视监测台,工作频率为 526.5 kHz~26.1 MHz。

防护间距是指为了使调幅广播收音台免受架空输电线路的影响,保证其正常工作和收音质量,从而规定二者之间的距离。它是指架空输电线路靠近调幅广播收音台一侧边导线到调幅广播收音台天线的距离,110 kV 及以下的架空输电线路还应包括到机房天线馈线入口处的距离。

调幅广播收音台是指接收调幅信号,并将信号传送至当地转播发射台或有线广播网作为信号源使用的专用调幅广播收音台。调幅广播收音台根据行政隶属和业务性质的不同共分为三级。

一级调幅广播收音台:为国家广播电影电视总局(原广播电影电视部)及设在北京以外的转播发射台收转中央广播电视总台(原中央电视台、原中央人民广播电台与原中国国际广播电台于 2018 年合并组建)节目的调幅广播收音台以及为省、自治区、直辖市直属转播发射台收转中央广播电视总台节目的调幅广播收音台。

二级调幅广播收音台:为省、自治区、直辖市直属转播发射台收转省、自治区人民广播电台节目的调幅广播收音台。为省辖市直属转播发射台收转中央人民广播电台节目的调幅广播收音台。

三级调幅广播收音台:为市、县级转播发射台收转中央人民广播电台和省、自治区人民广播电台节目的调幅广播收音台,以及县级有线广播网的调幅广播收音台。

广播电视监测台(站)是指对广播的播出质量所需的各种技术数据、资料等进行监听、监测和分析的专用调幅广播收音台。监测台(站)根据监测范围、监测项目、监测精度、工作时间以及技术设备的要求,共分为三级。

一级监测台:为国家广播电影电视总局(原广播电视部)所属负责监测、监听国内外广播质量、技术参数、广播频谱负荷和测定广播电台方位,并进行有关电波传播研究

等工作的监听台。

二级监测台(站):为国家广播电影电视总局(原广播电视部)、省、自治区、直辖市所属并负责监测、监听部分广播质量、技术参数和测定广播电台方位等工作的监测台(站)。

三级监测台(站):为省、自治区、直辖市、省辖市进行监测、监听区域性广播质量及技术参数等工作的监测台(站)。

国家标准 GB 7495—198787《架空电力线路与调幅广播收音台的防护间距》对输电线路和各类台站之间的防护间距进行了严格规定,详见表 1.3。

表 1.3 架空输电线路与各级调幅广播台站的防护间距 (单位: m)

台站类别		电压等级/kV			
		35	63~110	220~330	500
调幅广播收音台站	一级台	600	800	1000	1200
	二级台	300	500	700	900
	三级台	100	300	400	500
广播电视监测台	一级台	1000	1400	1600	2000
	二级台	600	600	800	1000
	三级台	100	300	400	500

35 kV 以下架空配电线路与一级调幅广播收音台、一级监测台、二级监测台(站)的防护间距按表 1.3 中 35 kV 规定;与二、三级调幅广播收音台、三级监测台(站)的防护间距参照表 1.3 中 35 kV 的规定。满足上述规定确有困难时,可协商解决。

当满足表 1.3 的防护间距确有困难时,可通过计算、测量或采取其他技术措施,并根据其结果共同确定小于表 1.3 的间距。

### 1.2.2 短波无线电测向、收信台站

短波无线电测向、收信台的工作频率均为 1.5~30 MHz。国家标准 GB 13614—2012《短波无线电收信台(站)及测向台(站)电磁环境要求》对输电线路和相应的台站进行了严格规定,详见表 1.4。

表 1.4 短波无线电收信台(站)对高压架空输电线路的保护间距

电压等级/kV	保护间距/km		
	一级台(站)	二级台(站)	三级台(站)
500	2	1.1	0.7
220~330	1.6	0.8	0.6
110	1.0	0.6	0.5

短波无线电测向台(站)电磁环境的保护要求,距测向天线前沿 300 m 以内为短波无线电测向台(站)电磁环境保护禁区,在保护禁区内,不得有无线电干扰源和障碍物。各种无线电干扰源和障碍物与短波无线电测向台(站)之间的保护间距应满足表 1.5 的要求。

表 1.5 各种无线电干扰源和障碍物与短波无线电测向台(站)之间的保护间距

无线电干扰源或障碍物的名称		保护间距/m
高压架空输电线路(单回路)	电压等级/kV	
	500	2000
	220~330	1600
	110	1000
	≤35	600
220~380 V 架空配电线		500
架空通信、广播线路		400~600
非电气化铁道		500
电气化铁道		1200
工业、科学、医疗设备	一般	3000
	多台、大功率	5000
中、短波大功率发射机	发射功率/kW	
	1	2000
	5	3000
	10	5000
	≥100	≥10 000
公路	高速和一级	1000
	二级	800
	三级	500
小型农用电力机械设备		500
不高于 2 m 金属导线栅栏		400
不高于 3 m 的孤立小棚屋、小平房等	非金属屋顶或围墙	300
	金属屋顶或围墙	500
不高于 10 m 的孤立楼房	非金属屋顶	600
	金属屋顶	900
煤气或油料贮存槽等高大金属建筑物		1800
宽度大于 5 m 的水渠		500
小片树林		500

续表

无线电干扰源或障碍物的名称	保护间距/m
小村庄	1000
城市	5000
池塘	500~1000
河流(包括河床)	1000
湖泊	2000
海岸	5000
山脉(含丘陵)	仰角 $<2^{\circ}$

### 1.2.3 电视差转台、转播台站

电视差转台、转播台的工作频率在 VHF (I) 和 VHF (III) 频段, 其对应频率分别为 48.5~92 MHz 和 167~223 MHz。国家标准 GBJ 143—1990《架空电力线路、变电所对电视差转台、转播台无线电干扰防护间距标准》对输电线路和电视差转台、转播台之间的防护间距进行了严格规定, 参见表 1.7。

表 1.7 架空输电线路与电视差转台、转播台无线电站的防护间距 (单位: m)

电视频段	电压等级/kV		
	110	220~330	500
VHF (I)	300	400	500
VHF (III)	150	250	350

### 1.2.4 中波航空无线电导航台

航空无线电导航台站包括无方向信标台、超短波定向台、航向信标台、下滑信标台等 14 种台站。国家标准 GB 6364—2013《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》规定了台站的电磁环境要求。

无方向信标台与机载无线电罗盘配合工作, 用以测定航空器与导航台的相对方位角, 引导航空器沿预定航路(线)飞行、归航和进近着陆, 工作频率为 150~1750 kHz。无方向信标天线覆盖区内, 对工业、科学和医疗设备干扰的防护率为 9 dB, 对其他各种有源干扰的防护率为 15 dB。以中波导航台天线为中心, 要求半径 500 m 以内不得有 110 kV 及以上架空高压输电线路; 半径 150 m 以内不得有铁路、电气化铁路、架空金属线缆、金属堆积物和电力排灌站; 半径 120 m 以内不得有高于 8 m 的建筑物; 半径 50 m 以内不得有高于 3 m 的建筑物(不含机房)、单棵大树和成片树林。

超短波定向台、航向信标台、下滑信标台和全向信标台等为航空器提供引导信息,引导航空器沿预定航路(线)飞行、进离场,工作频率为 108~400 MHz。在其信号覆盖范围内,对工业、科学和医疗设备干扰的防护率为 14 dB,对其他各种有源干扰的防护率为 20 dB。以天线为中心,半径 700 m 以内不应有 110 kV 及以上的高压输电线;500 m 以内不应有 35 kV 及以上的高压输电线、电气化铁路和树林;300 m 以内不应有架空金属线缆、铁路和公路;70 m 以内不应有建筑物(机房除外)和树木;70 m 以外建筑物的高度不应超过以超短波定向天线处地面为准的  $2.5^\circ$  垂直张角。

方位台、仰角台等是微波着陆系统的组成部,与机载接收机配合工作,为进近着陆的航空器提供水平方位角、仰角等引导信息,工作频率为 5031~5090.7 MHz。在方位台和仰角台信号覆盖区内,对各种有源干扰的防护率为 17 dB。在它们的保护区内不应有树木、建筑物、道路、金属栅栏和架空线缆等障碍物存在。

### 1.2.5 对海远程无线电导航台和监测站

根据国家标准 GB 13613—2011《对海远程无线电导航台和监测站电磁环境要求》,长波远程无线电导航台是发射脉冲导航信号的全方向性发射台。为提供正确的导航信息,它必须要接收远方台发射的信号,工作的中心频率为 100 kHz。在 90~110 kHz 频段内包含导航台辐射能量的 99%以上。

长波远程无线电导航台受保护的设施包括导航发射天线及其场地、导航接收天线及其场地、其他导航设备以及附属的短波通信设施。在 70 kHz~130 kHz 频段内,长波远程无线电导航台对连续波近同步干扰、连续波非同步干扰和移频键控干扰的防护率应符合标准要求。长波远程无线电导航台对工业、科学、医疗设备干扰的同频道防护率为 9 dB,对其他有源干扰的同频道防护率为 15 dB。

以导航发射天线为中心,半径 500 m 以内不得有架空金属线缆、铁路、公路、非本台建筑物和高大树木。以导航接收天线为中心,半径 60 m 以内不得有架空金属线缆和 10 m 高以上的建筑物。以导航接收天线为中心,半径 250 m 以内不得有 1000 kV 及以上交流特高压架空电力线。

长波远程无线电导航台附属的短波通信设施的电磁环境应符合 GB13614 中的有关规定。

根据国家标准 GB 13613—2011《对海远程无线电导航台和监测站电磁环境要求》,监测站受保护的设施包括导航接收天线及其场地、其他导航设备及附属的短波通信设施。监测站对 70~130 kHz 频带内连续波近同步干扰,连续波非同步干扰和移频键控干扰的防护率在长波远程无线电导航台防护率数值基础上,另外增加 5 dB。监测站对其他有源干扰的同频道防护率同长波远程无线电导航台要求。

以导航接收天线为中心,半径 20 m 以内不得有 35 kV 及以上的架空高压输电线,超过天线根部高度的架空金属线缆和超过天线根部 10 m 以上的建筑物。以导航接收天线为中心,半径 250 m 以内不得有 1000 kV 及以上交流特高压架空电力线。

监测站短波通信设施的电磁环境应符合 GB13614 中的有关规定。



## 1.2.6 对空情报雷达站

对空情报雷达站工作频率一般在甚高频频段及以上, 国家标准 GB 13618—1992《对空情报雷达站电磁环境保护要求》对工作频率为 80~3000 MHz 频段内的对空情报雷达站和输电线路之间的防护间距做出了规定, 详见表 1.7。

表 1.7 架空输电线路与对空情报雷达站的防护间距 (单位: m)

雷达频段/MHz	电压等级/kV		
	110	220~330	500
80~300	1000	1200	1600
300~3000	700	800	1000

对空情报雷达在有源干扰不可避免的条件下, 容许有不大于 5% 的探测距离损失; 电磁障碍物对雷达探测距离影响的损失, 不超过探测距离的 5%。

对空情报雷达对各种干扰源的防护间距见表 1.8。

表 1.8 对空情报雷达对各种干扰源的防护间距

干扰源		防护间距/km		备注
		80~300 MHz	300~3000 MHz	
高压架空输电线路	500 kV	1.6	1.0	
	220~330 kV	1.2	0.8	
	110 kV	1.0	0.7	
高压变电站	500 kV	3.0	1.2	
	220~330 kV	1.6	0.8	
	110 kV	1.4	0.7	
电气化铁路	国产机车	0.8	0.7	
非电气化铁路		0.6	0.5	
汽车公路	高速、一级	1.0	0.7	
	二级	0.8	0.7	
高频热合机		1.2	1.2	从厂房算起
高频炉	$P \leq 100 \text{ kW}$	0.5	0.5	有屏蔽的厂房, 从厂房算起
工业电焊	$P \leq 10 \text{ kW}$	0.5	0.5	
超高频理疗机	$P \leq 1 \text{ kW}$	1.0	1.0	从工作间算起
农用电力设备	$P \leq 1 \text{ kW}$	0.5	0.5	

### 1.2.7 地震台站

国家标准《地震台站观测环境技术要求 第2部分:电磁观测》(GB/T 19531.2—2004)对地震台站和交流、直流线路之间的防护间距分别做了规定。

(1) 35 kV 以上、500 kV 以下高压交流输电线路距地震电磁台站的最小距离,应符合下列规定:

- a. 线路与地电场任一测量极的距离应不小于 1 km;
- b. 线路与地磁观测点观测仪器的距离应不小于 0.3 km;
- c. 线路与地电阻率任一测量极的距离应不小于 0.3 km。

(2) 500 kV 高压交流输电线路距地震台站电磁观测设施的最小距离,应符合下列规定:

- a. 线路与地电场任一测量极的距离应不小于 1.5 km;
- b. 线路与地磁观测点观测仪器的距离应不小于 0.5 km;
- c. 线路与地电阻率任一测量极的距离应不小于 1.5 km。

(3) 高压直流输电线路距地磁观测点的最小距离,应符合下列要求:

- a. 线路垂直方向上,满足下列公式

$$R = 0.4\beta I \quad (1.1)$$

式中:  $R$  为高压直流输电线路与地磁观测点观测仪器的最小距离, km;  $I$  为直流输电线路的额定电流, A;  $\beta$  为直流输电线路允许的最大不平衡电流  $\Delta I$  对额定电流  $I$  的比值,即

$$\beta = \Delta \frac{I}{I} \quad (1.2)$$

- b. 在接地极附近,高压直流输电线路接地极与电磁观测点观测仪器的最小距离,为式(1.1)结果的  $\frac{1}{2}$ 。

(4) 工频骚扰源距地震台站电磁观测设施的最小距离,应符合下列规定。

- a. 对 30 kVA 以下变压器或相当功率的用电器,其接地线与地电场或地电阻率观测场地中任一测量极的距离应不小于 0.05 km;

- b. 对 30 kVA 以上变压器或相当功率的用电器,其接地线与地电场或地电阻率观测场地中任一测量极的距离应不小于 0.1 km。

标准 GB/T 19531.2—2004 同时规定,对地磁场观测的静态磁骚扰强度应不大于 0.5 nT,在满足直流输电线路和地磁观测台站最小距离的基础上,要求输电线路对地磁观测要素干扰不超过 0.5 nT。

## 1.3 特高压输电线路对无线电台站干扰的表现形式

传统上所说的高压输电线路无线电干扰,是指导线或金具电晕或者电火花产生的脉