

# 超/特高压输电线路电磁环境限值标准探讨

朱普轩<sup>1</sup>, 杨光<sup>2</sup>, 贺建国<sup>2</sup>, 朱琨<sup>2</sup>

(1. 清华大学 电机工程与应用电子技术系, 北京市 海淀区 100084;

2. 甘肃省电力设计院, 甘肃省 兰州市 730050)

## Several Suggestions for Electromagnetic Environment of EHV and UHV Transmission Lines in China

ZHU Pu-xuan<sup>1</sup>, YANG Guang<sup>2</sup>, HE Jian-guo<sup>2</sup>, ZHU Kun<sup>2</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Haidian District, Beijing 100084, China;

2. Gansu Power Design Institute, Lanzhou 730050, Gansu Province, China)

**ABSTRACT:** Based on on-site testing results of radio interference (RI) and audible noise (AN) generated from 330 kV and 750 kV power transmission lines as well as that from the tested portion of single circuit 1 000 kV transmission line and double circuit transmission line in China, and according to theoretical calculation results and referring to related situations abroad, following suggestions on limited values in related standards and their calculation methods for RI and AN of domestic UHV and EHV transmission lines in China are proposed, they are: the limited value of radio interference for the areas with attitude lower than 1 000 km should taken in the range from 55 dB to 58 dB in clear day and the limited value of audible noise should taken as 55 dB while the conductors are wet; the radio interference level of 750 kV and 1 000 kV transmission lines should be calculated by excitation function and the methods such as empirical formula and so on should not be adopted.

**KEY WORDS:** EHV transmission lines; UHV transmission lines; electromagnetic environment; limited value standard

**摘要:** 根据我国 330、750 kV 线路以及 1 000 kV 单、双回试验线段的无线电干扰与可听噪声现场测试结果, 结合理论计算, 并参考国外相关情况, 对我国超、特高压输电线路无线电干扰、可听噪声的限值标准与计算方法提出了若干建议: 建议海拔 1 000 m 以下无线电干扰限值最小取为晴天 55~58 dB, 湿导线条件下的可听噪声限值取为 55 dB; 计算 750 kV 与 1 000 kV 的无线电干扰应用激发函数法, 不能用经验公式方法等。

**关键词:** 超高压输电线路; 特高压输电线路; 电磁环境; 限值标准

## 0 引言

制约我国 750 kV 和 1 000 kV(含高海拔地区的

330 kV)线路导线选型的主要因素是无线电干扰与可听噪声, 而不是输送容量<sup>[1-4]</sup>, 因此, 有必要对无线电干扰与可听噪声进行系统、深入的研究。

自 20 世纪 90 年代以来, 很多科研单位对 330、500、750 kV 线路以及 1 000 kV 试验线段的无线电干扰进行了现场测试。由于我国 500 kV 线路采用 4 分裂导线, 分裂根数相对较多, 其无线电干扰比较小, 因此, 本文将着重对 330、750 kV 线路以及 1 000 kV 试验线段无线电干扰的现场测试结果及相关问题进行讨论。

输电线路的可听噪声有 2 个特征分量, 即宽频带噪声与低频噪声, 本研究中忽略输电线路噪声的类型, 主要研究噪声的大小以及如何将输电线路噪声控制到人们能接受的程度。

## 1 无线电干扰

### 1.1 现场测试结果

#### 1.1.1 330 kV 线路国网电力科学研究院现场测试结果

在 20 世纪 90 年代及以前, 国网电力科学研究院对我国 330 kV 线路就进行了大量的晴天测试, 其实测数据详见表 1<sup>[5]</sup>。

由表 1 中的数据可知, 除 500 kV 漫昆线无线电干扰晴天实测值为 38.3 dB, 换算为双 80% 值为 44.3~48.3 dB 比较低之外, 其余 5 条 330 kV 线路无线电干扰晴天实测值换算为双 80% 值为 54.1~72.5 dB, 全部都超过了双 80% 值为 53 dB 的限值要求, 而且有 4 条线路的双 80% 值高达 60~70 dB, 高出标准很多。

表1 国内 330~500 kV 无线电干扰实测数据  
Tab. 1 Measured data of domestic 330~500 kV radio interference

线路名称	电压/kV	导线	海拔/m	干扰值/dB
龙黄线	330	2×LGJQ-400	2 500	48.1
银和线	330	2×LGJ-300	1 520	56.4
花黄线	330	2×LGJQ-400	2 320	53.5
南庄线	330	2×LGJQ-300	400	57.0
龙花线	330	2×LGJQ-400	3 330	62.5
漫昆线	500	4×LGJ-400	2 100	38.3

### 1.1.2 330 kV 线路中国电力科学研究院现场测试结果

中国电力科学研究院于 2005 年 9 月对甘肃地区 330 kV 单、双回、2 分裂常规型、3 分裂紧凑型、4 分裂紧凑型等不同型式线路的电磁环境进行了现场测试, 有关无线电干扰的测试结果见表 2<sup>[6]</sup>。

表2 5种线路边相地面投影 20 m 处晴天实测无线电干扰水平

Tab. 2 Measured sunny days radio interference level at 20 m ground projection of edge phase of 5 line types

线路类型	线路名称	导线型号	海拔/m	边相外 20 m 处实测值/dB	实测值换算到对地 8 m 高的值/dB
单回常规	定和 2	2×300/40	1 800	62.6	64.5
单回紧缩	东和 1	3×185/30	1 780	52.8	53.8
单回紧凑	天成	4×150/25	1 610	42.4	45.8
同塔双回常规	定和 1	2×300/70	1 700	59.7	64.4
同走廊	天眉	2×300/40	1 500	47.1	48.6
两条单回	天雍	2×300/40	1 500	51.0	52.4

表 2 给出了这次测量得到的晴天离边导线投影 20 m 处 0.5 MHz 的无线电干扰值。由表 2 可见, 除 330 kV 天成紧凑线路的无线电干扰晴天实测值 45.8 dB(换算成双 80%为 51.8~55.8 dB)相对较低, 勉强满足双 80%值为 53 dB 限值要求之外, 其余线路全部都超过了此限值要求。

由表 1、2 可知, 2 个单位对西北 330 kV 线路无线电干扰的晴天实测值基本相同。

### 1.1.3 750 kV 官兰线国网电力科学研究院现场实测情况

国网电力科学研究院于 2007 年 5 月开始对 750 kV 官兰线的电磁环境进行了一年多的现场测试, 测试结果如表 3 所示<sup>[7]</sup>。

表3 750 kV 官兰线 0.5 MHz 晴天无线电干扰实测结果  
Tab. 3 Measured sunny days radio interference level of 0.5 MHz at the 750 kV Guan-Lan east line in the northwest

海拔/m	导线对地高度/m	边相导线投影外 15 m 实测值/dB	边相导线投影外 20 m 实测值/dB	边相导线投影外 25 m 实测值/dB
1 850	23.0/15.5	57.80/60.05	54.86/57.11	53.26/55.51
2 550	35.5/15.5	55.00/61.00	54.00/60.00	53.00/59.00

注: 表中“/”前为实测结果, 后面的数值为换算到设计对地 15.5 m 高的晴天干扰值。

由表 3 可知, 750 kV 官兰线 0.5 MHz 晴天无线电干扰实测结果(边相导线投影外 20 m)已高达 57~60 dB, 换算为双 80%将高达 65~68 dB, 比我国的双 80%值为 55~58 dB 的限值标准要高出 10 dB。

### 1.1.4 750 kV 官兰线甘肃电力科学研究院现场实测情况

甘肃电力科学研究院于 2006 年 9 月对 750 kV 官兰线的电磁环境进行了现场测试, 测试结果见表 4<sup>[8]</sup>。

表4 750 kV 官兰线 0.5 MHz 晴天无线电干扰实测结果  
Tab. 4 Measured sunny days radio interference level of 0.5 MHz at the 750 kV Guan-Lan east line in the northwest

海拔/m	导线对地高度/m	边相导线投影外 0 m 实测值/dB	边相导线投影外 15 m 实测值/dB	边相导线投影外 20 m 实测值/dB
1 852	20.07	67.2/68.57	65.8/67.17	59.2/60.57
1 994	21.64	62.5/64.34	58.1/59.94	57.2/59.04
2 273	35.19	54.5/60.41	51.2/57.11	50.8/56.71

注: 表中“/”前方数值为实测结果, 后方数值为换算到设计对地 15.5 m 高的晴天干扰值。

由表 4 可知, 该院的实测结果也为 57~60 dB 左右, 与国网电力科学研究院的测试结果几乎完全一致。另外, 还有 2 个科研单位的 750 kV 官兰线 0.5 MHz 晴天无线电干扰现场实测结果与以上 2 个单位的现场实测值也基本相当。

### 1.1.5 1 000 kV 试验线段实测情况

国网电力科学研究院近 1 年多来对武汉交流特高压试验基地的 1 000 kV 单、双回试验线段进行了无线电干扰测试。初步测试结果<sup>[9]</sup>为: 边导线投影 20 m 处的无线电干扰水平, 1 000 kV 单回试验线段晴天为 55.6 dB; 1 000 kV 双回试验线段晴天为 55.7 dB。

## 1.2 无线电干扰的限值

### 1.2.1 文献[10]规定的限值

该规程规定: 距送电线路边相导线外投影 20 m 处, 无雨、无雪、无雾天气, 频率 0.5 MHz 时的无线电干扰限值如表 5 所示。

表5 文献[10]规定的无线电干扰限值  
Tab. 5 Limits of radio interference in reference [10]

标称电压/kV	限值/dB
110	46
220~330	53
500	55

### 1.2.2 文献[11]规定的限值

该标准规定: 无线电干扰(噪声)限值是指在距边导线投影 20 m 处、0.5 MHz 无线电噪声场强在 80%时间、具有 80%置信概率不超过的规定值, 具体如表 6 所示。

表6 无线电噪声限值

Tab. 6 Limits of radio interference

电压等级/kV	限值/dB
110	46
220~330	53
500	55

### 1.2.3 文献[12]规定的限值

该标准规定:距送电线路边相导线外投影 20 m 处、80%时间、80%置信度、频率 0.5 MHz 时的无线电干扰限值不应超过表 7 所列的数值。

表7 文献[12]规定的无线电干扰限值

Tab. 7 Limits of radio interference in reference [12]

标称电压/kV	限值/dB
110	46
220~330	53
500	55
750	55~58

### 1.2.4 文献[13]规定的限值

该标准规定:海拔 1000 m 以下地区,距线路边相导线外投影 20 m 处、80%时间、80%置信度、频率 0.5 MHz 时的无线电干扰限值为 55~58 dB。

### 1.2.5 国家环境保护部门要求的限值

国家环境保护总局要求 750 kV 与 1000 kV 线路晴天的无线电干扰限值为 55 dB<sup>[14-15]</sup>。

参照相关研究,晴天条件下的无线电干扰值加 6~10 dB 可得双 80%值,因此,国家环境保护总局规定的双 80%值可提高到 61~65 dB,比国家标准和国网公司标准规定的限值高。

### 1.3 美国、加拿大、前苏联对无线电干扰的限值要求

美国电力公司经验认为,对于 765 kV 线路来说,1 MHz 的无线电干扰水平在 65~70 dB(对应 0.5 MHz 为 60~65 dB)。

加拿大有关标准规定:在距边相投影距离 15 m 处,400~600 kV 线路无线电干扰限值为 60 dB;600~800 kV 线路无线电干扰限值为 63 dB。

美国电力公司经验和加拿大标准未说明是晴天值还是双 80%值,但无论是哪个值都比我国要求的限值高。

前苏联对输电线路无线电干扰采用了灵活处理方式,不规定具体的限值指标,在有无线电接收设备的情况下,根据相关规定予以特殊处理。

### 1.4 计算方法的选择

文献[16]与国际无线电干扰特别委员会推荐 4 分裂以上多分裂导线的无线电干扰计算应用激发函数法,而经验公式仅适用于 4 分裂及以下线路,故我国的 4 分裂以上的超、特高压线路,如 500 kV

紧凑型(6 分裂)、750 kV 常规型(6 分裂)、750 kV 紧凑型(8 分裂)、1000 kV 常规型(8 分裂)等都应该采用激发函数法计算无线电干扰<sup>[17]</sup>。计算结果表明,用激发函数法计算的我国 4 分裂以上的超、特高压线路的无线电干扰与实际情况比较吻合,而经验公式的计算结果要远小于实测结果(一般小 10 dB 左右甚至更多)。

### 1.5 计算结果与实测结果的比较

表 8 列出了部分 330、750 kV 与 1000 kV 线路距送电线路边相导线外投影 20 m 处频率 0.5 MHz 无线电干扰计算与实测结果。表中均为海拔 1000 m 的双 80%数值,330 kV 计算值与实测值所取电压相同,均为 354 kV;750 kV 线路计算电压为 800 kV,实测时电压不超过 770 kV(770 kV 时的计算值为 58.33 dB);750 kV 与 1000 kV 单回( )中的数值为中国电力工程顾问集团公司的初步设计计算值,(( ))内、外数值分别为计算的 1000 kV 单回初步设计值(同单回试验线段)与施工图值;1000 kV 双回( )内为试验线段计算值、( )外为施工图计算值,双回均为逆相序。

表8 无线电干扰计算值及实测值

Tab. 8 Calculated and measured values of radio interference

电压/kV	双 80%计算值/dB	实测值/dB
330 单回	64.8	69.90
330 双回	67.6	69.10
750 单回	59.7(56.4)	62.31
750 双回	63.6	—
1000 单回	60.3((60.9))(55.4)	63.60
1000 双回	56.2(59.6)	63.70

由表 8 可知,330 kV 线路海拔 1000 m 的双 80%计算值均超过双 80%值为 53 dB 的限值要求;750 kV 与 1000 kV 单回线路,海拔 1000 m 的双 80%计算值也都超过了双 80%值为 55~58 dB 的限值要求;1000 kV 双回线路尽管加大了导线截面与塔头尺寸,其无线电干扰计算值还是超过了 55 dB。晴天实测值换算为双 80%值后,全都大于 62 dB,330 kV 线路的无线电干扰比 750 kV 与 1000 kV 线路严重。

### 1.6 无线电干扰限值的探讨

对于 330 kV 线路无线电干扰,文献[11]规定的限值太低,西北高海拔地区的 330 kV 线路很难满足要求,实测值超过限值标准一般达 6~10 dB,有的甚至高达 15 dB,如果坚持按现有标准执行,工程投资将大大增加。据计算,若以 2×LGJ-300/40 导

线为基准进行比较, 330 kV 线路无线电干扰超过双 80% 值为 53 dB 的限值要求 2 dB 左右, 就要增大导线截面选用 2×LGJ-300/70, 超 3~5 dB 要用 2×LGJ-400, 超 6~7 dB 要用 2×LGJ-500, 超 9~11 dB 就要用 2×LGJ-630, 由此要引起工程投资每 km 数十万元至数十万元的增加, 显然是不合理的, 因此建议修改文献[11]中的相关规定。文献[10]要求的限值也偏低, 且与文献[11]有冲突(前者要求晴天, 后者要求为双 80% 值), 也应修正。

750 kV 官兰线 0.5 MHz 晴天无线电干扰现场实测值已超过了我国双 80% 值为 55~58 dB 限值标准。我国有关 750 kV 线路无线电干扰双 80% 值为 55~58 dB 的限值标准需要修改, 否则要将我国 750 kV 线路现行普遍采用的 6×LGJ-400/50 导线更换为 6×LGJ-900 导线才能满足限值标准的要求, 如果这样, 单回线路每 km 工程造价要增加上百万, 投资巨大。

实测无线电干扰双 80% 值不仅工作难度高, 而且需要很长时间, 一般很难做到。国家环保部门只要求对晴天的无线电干扰进行验收, 因此, 建议无线电干扰限值不用双 80% 值, 改用晴天值, 并建议海拔 1 000 m 以下无线电干扰限值最小取为晴天 55~58 dB, 1 000 m 以上可适当提高。

### 1.7 无线电干扰限值的海拔修正

国外海拔每增高 300 m 无线电干扰增加 1 dB 的意见没说明起增海拔高度, 因此需要研究我国采用 1 000 m 做为起增高度是否准确。

国外海拔每增高 300 m 无线电干扰增加 1 dB 的意见没说明海拔高度的高限范围(国外的超高压输电线路的海拔高度极少有超过 2 000 m 的), 因此需要研究我国 2 000 m 以上的高海拔地区是否适用。

根据国网电力科学研究所和中国电力科学研究所的初步研究成果, 海拔增高 300 m, 无线电干扰增加值要 >1 dB, 且并非完全的线性关系, 因此, 建议结合我国实际情况继续深化研究。

## 2 可听噪声

### 2.1 实测情况

330 kV 线路晴天可听噪声除同塔双回线路距边相导线外投影 20 m 处达 45 dB 以外, 其他线路大多数都在 38~40 dB 以下, 尤其是 3 分裂和紧凑型线路晴天几乎听不到噪声。330 kV 线路进、出线档, 晴天可听噪声大于 50 dB。

750 kV 线路上(除耐张转角塔、换位塔外)晴天可听噪声一般在 37~38 dB 以下, 基本听不到噪声。750 kV 线路耐张转角塔及换位塔、进出线档晴天可听噪声很大, 一般高达 55 dB 左右。750 kV 变电所的配电装置区晴天可听噪声比耐张转角塔高, 一般可高达 60 dB 以上。

1 000 kV 试验线段, 单回晴天线下可听噪声为 37.2~42.0 dB(基本为背景噪声)、雨天为 52.0~53.1 dB; 双回晴天线下可听噪声为 36.6~41.0 dB(基本为背景噪声)、雨天尚无测试数据<sup>[9]</sup>, 所以 1 000 kV 试验线段无论单、双回路的可听噪声都是比较小的。

### 2.2 可听噪声的限值

文献[12]规定的限值为: 距送电线路边相导线外投影 20 m 处, 湿导线条件下的可听噪声不应超过表 9 所列数值。

表 9 可听噪声限值  
Tab. 9 Limits of audible noise

标称电压/kV	限值/dB
110~500	55
750	55~58

文献[14]规定的限值为: 海拔 1 000 m 以下地区, 距线路边相导线外投影 20 m 处, 湿导线的可听噪声值限值为 55~58 dB。

国家环境保护总局对 1 000 kV 试验示范工程线路没有提出明确的噪声限值标准, 只提出了线路通过猕猴自然保护区时线路边相 20 m 外噪声满足文献[18] 0 类要求; 对变电所、开关站的要求为: 选用低噪声设备、采取隔声降噪措施, 并合理布置, 变电所围墙外布置绿化隔离带, 并设置 200 m 的噪声控制区, 在此范围内不得新建医院、学校、居民住宅等建筑, 确保该范围边界符合文献[19] II 类要求, 同时确保周围居民区符合文献[18]相应功能要求。

文献[18]规定的限值见表 10。其中 0 类标准适用于疗养区、高级别墅区、高级宾馆区等特别需要安静的区域; 1 类标准适用于以居住、文教机关为主的区域, 乡村居住环境可参照执行该类标准; 2 类标准适用于居住、商业、工业混杂区; 3 类标准

表 10 城市区域环境噪声标准

Tab. 10 Ambient noise standard in urban area

类别	昼间/dB	夜间/dB
0	50	40
1	55	45
2	60	50
3	65	55
4	70	55

适用于工业区；4类标准适用于城市中的道路交通干线道路两侧区域，穿越城区的河航道两侧区域。

### 2.3 计算方法

各国对可听噪声的预测都是通过电晕笼模拟或仿真试验线段上长期实测数据的统计、分析、回归推导出来的<sup>[20]</sup>。美国、日本、意大利和加拿大等国都根据长期的实测数据提出了预测超、特高压输电线路对称分裂导线可听噪声的测量公式。美国邦那维尔电力局推荐的预测公式是根据不同电压等级、分裂方式的实际试验段上的长期实测数据推导而得，并利用这些预测公式的结果与其它送电线路的实测结果作了比较，结果说明，预测值与实测值的误差绝大多数仅1dB左右，因此，这个预测公式有较好的代表性和准确性。

美国邦那维尔电力局推荐的公式为下式

$$S_{LA} = 10 \lg \sum_{i=1}^z \lg^{-1} \left[ \frac{P_{WL}(i) - 11.4 \lg(R_i) - 5.8}{10} \right] \quad (1)$$

式中： $S_{LA}$ 为A加权声级； $P_{WL}(i)$ 为*i*相导线的声功率级， $R_i$ 为测点至被测*i*相导线的距离； $Z$ 为相数。 $P_{WL}$ 按下式计算

$$P_{WL} = -164.6 + 120 \lg E + 55 \lg d_{eq} \quad (2)$$

式中： $E$ 为导线最大表面电位梯度； $d_{eq}$ 为等效直径， $d_{eq} = 0.58 n^{0.48} d$ ，其中， $n$ 为分裂数； $d$ 为子导线直径。

该预测公式对于分裂间距为30~50cm，导线表面梯度为10~25kV/cm的常规对称分裂导线均是有效的。上式中的 $E$ 为导线最大表面电位梯度，是取一相导线中的最大值还是取各根分裂导线的最大表面电位梯度的平均值，是一个值得研究的问题。本文认为，在用邦那维尔电力局方法计算线路的可听噪声时，取各根分裂导线的最大表面电位梯度的平均值进行计算更接近线路可听噪声的实际情况。

### 2.4 计算结果

表11列出了部分330、750kV与1000kV线路距送电线路边相导线外投影20m处可听噪声的计算结果，表中均为海拔1000m的可听噪声计算值；750kV与1000kV单回( )中的数值为中国电力工程顾问集团公司和前武高院的初步设计计算值，(( ))内、外数值分别为本文计算的1000kV单回初

表11 可听噪声计算值(湿导线)

Tab. 11 Calculated values of audible noise (wet lines)

线路型式	计算值/dB	线路型式	计算值/dB
330kV 单回	45.77	330kV 双回	50.03
750kV 单回	49.37(50.14)	750kV 双回	52.93(52.69)
1000kV 单回	52.85((52.99))(52.67)	1000kV 双回	(54.34)53.17

步设计与施工图值；1000kV双回( )内为试验线段计算值，( )外为施工图计算值。

由表11可知：各单位用式(1)计算的结果都十分接近，海拔1000m湿导线条件下的可听噪声计算值全都满足55~58dB限值标准要求，且全都小于55dB。计算结果与实际情况比较吻合，且后者还略小于前者(330kV除外)。

330kV单、双回(2分裂)线路的可听噪声计算值明显偏小，需验证计算公式在分裂根数少的情况下的适用性与公式使用的正确性。

### 2.5 可听噪声限值探讨

330kV线路的可听噪声，除双回路需要改进以外其他都能满足要求；750kV单回线路的可听噪声存在优化空间，750kV双回线路的可听噪声较大，需要重视并予以改进；1000kV试验线段的可听噪声也比较理想。

用BPA方法计算线路的可听噪声时，取各根分裂导线的最大表面电位梯度的平均值进行计算比用最大表面电位梯度更接近线路可听噪声的实际情况。

110~1000kV线路湿导线边相外20m可听噪声限值建议不超过55dB；人烟稀少的高海拔地区不超过58dB。

750kV线路耐张转角塔、换位塔的可听噪声过大，需要研究、改进。

750kV变电站的750、330kV配电装置区可听噪声太大，需研究、改进；330kV变电站的330kV配电装置区可听噪声也太大，需研究、改进。

330kV与750kV线路的进出线档由于相间距离的突然缩小，可听噪声太大，需要研究、改进。

### 2.6 可听噪声限值的海拔修正

国外关于可听噪声受海拔影响的研究文献不多，也没明确的可听噪声海拔修正意见，因此需要研究验证海拔每增高300m可听噪声增加1dB的想法是否正确。

国网电力科学研究院研究提出在海拔1000m以上时，海拔每增高1000m可听噪声增加2dB的意见，由于测试数据样本还不够多，建议继续深化研究。

## 3 结论

1) 建议无线电干扰限值改用晴天值，海拔1000m以下无线电干扰限值最小取为晴天

55~58dB, 1000m 以上可适当提高。

2) 建议 110~1000kV 线路湿导线边相外 20m 可听噪声限值不超过 55dB; 人烟稀少的高海拔地区不超过 58dB。

## 参考文献

- [1] 邵方殷. 我国特高压输电线路的相导线布置和工频电磁环境[J]. 电网技术, 2005, 29(8): 1-7.  
Shao Fangin. Phase conductor configuration and power frequency electromagnetic environment of UHV transmission lines in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(8): 1-7(in Chinese).
- [2] 曾庆禹. 特高压输电线路电气和电晕特性研究[J]. 电网技术, 2007, 31(19): 5-7.  
Zeng Qingyu. Study on electric characteristic and corona performance of UHV AC transmission line[J]. Power System Technology, 2007, 31(19): 5-7(in Chinese).
- [3] 李勇伟, 杨林, 王虎长. 750kV 送电线路工程设计特点[R]. 西安: 西北电力设计院, 2008.
- [4] 郭雄, 李妮, 张广州. 1000kV 交流特高压输电线路的无线电干扰限值与设计控制[J]. 高电压技术, 2009, 35(8): 1-5.  
Wu Xiong, Li Ni, Zhang Guangzhou. Limits and design control of radio interference for 1000kV AC UHV transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(8): 1-5(in Chinese).
- [5] 李勇伟. 750kV 线路导线截面及其分裂形式研究[C]. 中国电机工程学会输变电四届二次学术年会, 北京, 中国, 2004.
- [6] 中国电力科学研究院, 甘肃电力设计院. 330kV 输电线路电磁环境实测和计算[R]. 北京: 中国电力科学研究院, 兰州: 甘肃电力设计院, 2005.
- [7] 西北电网有限公司, 武汉高压研究院. 750kV 同塔双回紧凑型输电线路关键技术电磁环境课题研究[R]. 西宁: 西北电网有限公司, 武汉: 武汉高压研究院, 2008.
- [8] 甘肃电力科学研究院. 750kV 大负荷试验测试结果[R]. 兰州: 甘肃电力科学研究院, 2006.
- [9] 刘振亚. 特高压交流输电工程电磁环境[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008: 90-91.
- [10] DL/T 5092—1999, 110~500kV 架空送电线路设计技术规程[S].
- [11] GB 15707—1995, 高压交流架空送电线路无线电干扰限值[S].
- [12] Q/GDW 179—2008, 110~750kV 架空输电线路设计技术规定[S].
- [13] Q/GDW 178—2008, 1000kV 架空输电线路设计暂行技术规定[S].
- [14] 国家环境保护总局. 关于晋东南—南阳—荆门百万伏级交流输变电工程环境影响报告书的批复[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2006.
- [15] 国家环境保护总局. 750kV 环保局验收结论[R]. 北京: 国家环境保护总局, 2006.
- [16] DL/T691—1999, 高压架空送电线路无线电干扰计算方法[S].
- [17] 庄池杰, 曾嵘, 龚有军. 交流输电线路的无线电干扰计算方法[J]. 电网技术, 2008, 32(2): 56-60.  
Zhuang Chijie, Zeng Rong, Gong Youjun. Calculation methods of radio interference caused by transmission lines[J]. Power System Technology, 2008, 32(2): 56-60(in Chinese).
- [18] GB 3096—2003, 城市区域噪声环境噪声标准[S].
- [19] GB 12348—1990, 工业企业厂界噪声标准[S].
- [20] Edison J G. 345kV 及以上超高压输电线路设计参考手册[M]. 北京: 电力工业出版社, 1981: 273-314.



朱普轩

收稿日期: 2009-09-29。

作者简介:

朱普轩(1943—), 男, 清华大学电机系兼职研究员, 甘肃省电力设计院首席专家、教授级高级工程师, 从事超、特高压输电技术的研究, Email: zhupuxuan@tsinghua.edu.cn;

杨光(1964—), 男, 高级工程师, 从事超高压输电线路的设计、研究工作;

贺建国(1967—), 男, 高级工程师, 从事超高压输电线路设计、研究工作;

朱琨(1975—), 男, 工程师, 从事超高压输电线路设计、研究工作。

(编辑 褚晓杰)