

T/CEC

中国电力企业联合会标准

T/CEC XXXX-20XX

高压交流架空输电线路起晕场强计算方法

Method of calculation of corona onset voltage gradient from high voltage
overhead power transmission lines

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国电力企业联合会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 交流架空输电线路起晕场强计算	1
附录 A（资料性） 架空输电线路分裂导线起晕场强计算举例	3
附录 B（资料性） 起晕场强判定方法对比	4
附录 C（资料性） 起晕场强预测方法评估	8
参考文献	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电磁兼容标准化技术委员会（SAC/TC 246）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

高压交流架空输电线路起晕场强计算方法

1 范围

本文件推荐了高压架空输电线路的起晕场强的计算方法。
本文件适用于高压架空输电线路分裂导线起晕场强的计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

DL/T 1178—2012 1000kV 交流输电线路金具电晕及无线电干扰试验方法

GB/T 15707—2017 高压交流架空输电线路无线电干扰限值

3 术语和定义

DL/T 1178—2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

输电线路分裂导线起晕场强 corona onset voltage gradient of bundle conductors on overhead power lines

分裂导线电晕起始电压对应的最大平均标称场强值。电晕起始场强类似“归一化值”，不受试品布置方式的影响。

4 交流架空输电线路起晕场强计算

4.1 分裂导线的起晕场强计算公式

$$E_c = \begin{cases} 21.92m\delta \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta r}}\right), & n = 1 \\ 21.1m\delta \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}}\right), & n = 2 \quad \dots\dots\dots (1) \\ 35.75\delta \left(\frac{1}{n} + 0.74 \frac{\ln n}{\sqrt{\delta nr}}\right) - 1.34, & n > 2 \end{cases}$$

$$\delta = \frac{273+t_0}{273+t} \times \left(1 - \frac{H}{10.7}\right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

E_c ——分裂导线起晕场强，单位为千伏每厘米 rms 值 (kVrms/cm)；

m ——导线表面粗糙系数；

δ ——相对空气密度；

r ——导线半径，单位为厘米 (cm)；

n ——导线分裂数；

t ——环境温度，单位为摄氏度 (°C)；

T/GEC XXXX-20XX

H ——海拔高度，单位为千米（km）；

t ——环境温度；

t_0 ——环境温度参考值，25 ℃；

上述公式详细推导过程见参考文献[1-2]。

4.2 计算结果说明

本计算结果代表了晴好天气条件下，输电线路分裂导线全线起晕时对应的导线表面最大平均标称场强有效值，单位为 kV/cm。

附录 A
(资料性)
架空输电线路分裂导线起晕场强计算举例

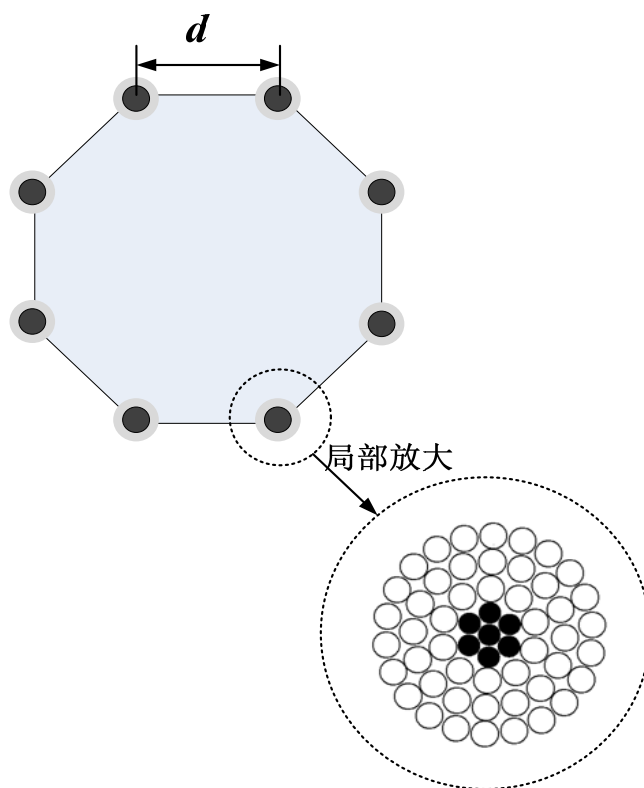


图 A.1 分裂导线结构示意图

对于高海拔地区超高压 750kV 同塔双回常用的 $6 \times \text{JL/G1A500}$ 导线，其参数为：

- 子导线半径 r ：1.5 cm；
- 海拔高度 H ：2.2 km；
- 分裂间距 D ：400 mm；
- 分裂数 n ：6。

由计算可得 E_c ：17.42 kV/cm。

从而得到分裂导线起晕场强值为 17.42 kV/cm。

附录 B
(资料性)
起晕场强判定方法对比

根据相关研究，瑞安和亨兰提出好天气下导线阻性电流 I 的计算公式，

$$I = k_0 f C (E - E_0) \dots \dots \dots (B. 1)$$

式中：

- k_0 —— 常数；
- f —— 施加电压的频率；
- C —— 对地电容；
- E_0 —— 起晕场强。

根据 Peek 公式，好天气下导线电晕损耗 P 的计算公式为

$$P = a f (E - E_0)^2 \dots \dots \dots (B. 2)$$

式中：

- a —— 常数。

瑞安公式 (B. 1) 给出了等效电晕电流和场强、起晕场强的计算关系式，Peek 半经验公式 (B. 2) 给出了好天气下电晕损失与导线场强、起晕场强的平方定律。由上式可知可知，曲线在横轴上的截距即为起晕场强值。因此，对场强—阻性电流 ($E - I$) 曲线和场强—电晕损耗根号值曲线 ($E - \sqrt{P}$) 采用切线法可获得起晕场强。具体操作步骤：对场强-阻性电流曲线分别在起晕前和起晕后分别作切线，2 条切线的交点即为电晕起始点，如图 B. 1 所示，即两条直线的交点在横坐标上的投影即为起晕场强。

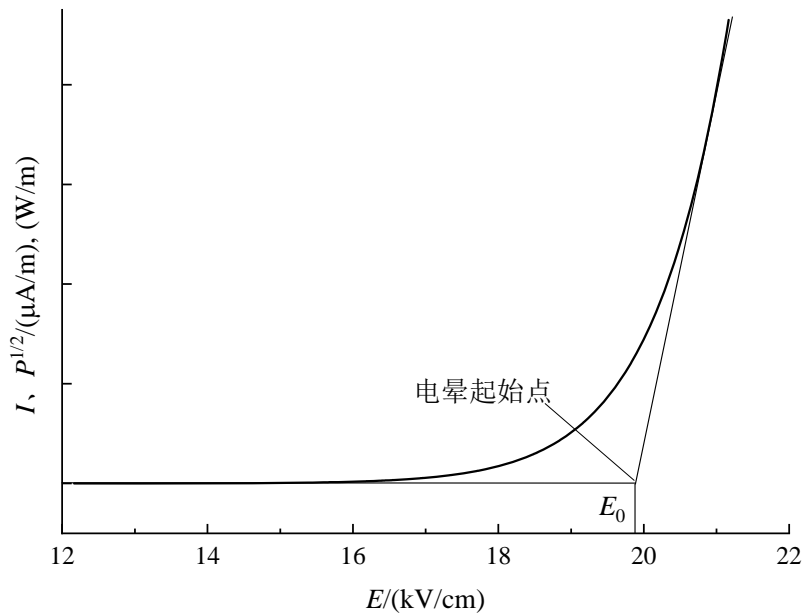
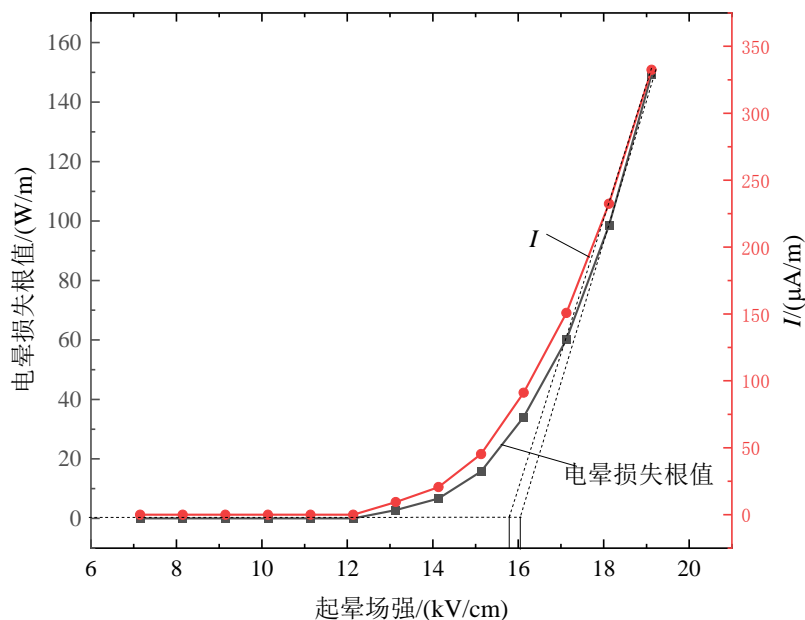
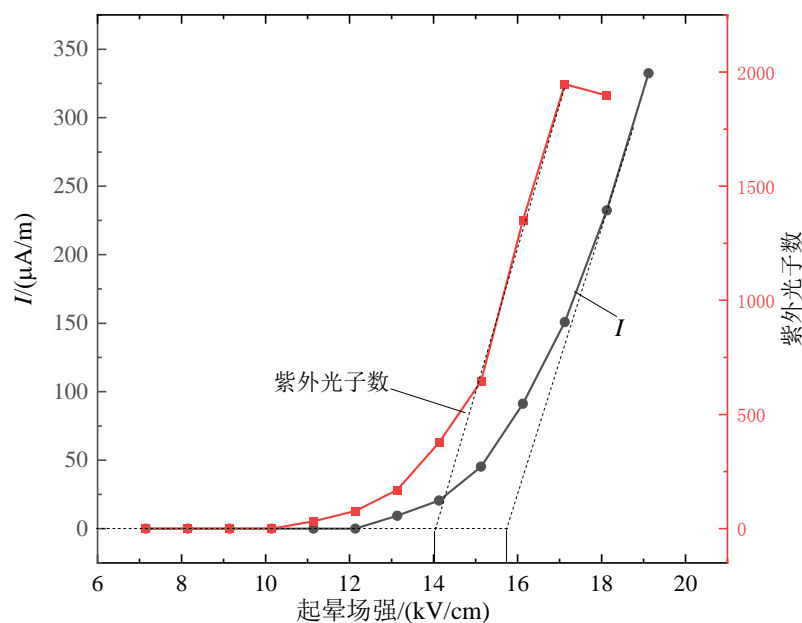


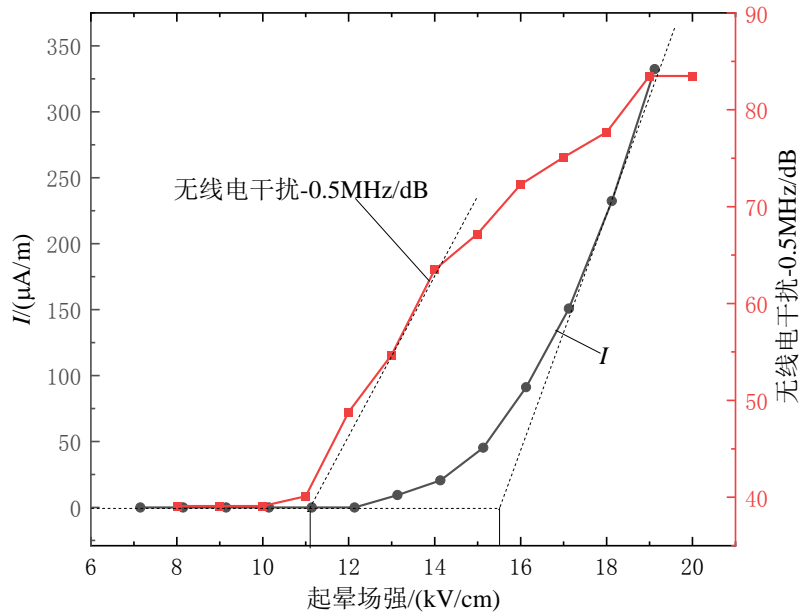
图 B. 1 切线法判定起始电压示意图

国内外学者通过大量的工程应用验证了 $E - I$ 、 $E - \sqrt{P}$ 切线法的可行性，如国外的 Peek、Chartier 等，国内的刘有为、何津云、胡其秀、黄世龙等。而淋雨、涂污导线下则采用双切线求取起晕场强。但实际测量过程中，由于电晕放电的非均匀性，户外环境的即变性、及测量仪器本身引入的误差，使得测量原始数据表征高阶特性，但可以通过多次测量求平均的方法来消除，切线法所求取的起晕电压完全满足工程误差范围。后续学者发现采用 $E - P$ 和 $E - \sqrt{P}$ 曲线获得起晕场强结果偏差不大，因此多采用 $E - P$ 曲线求取起晕

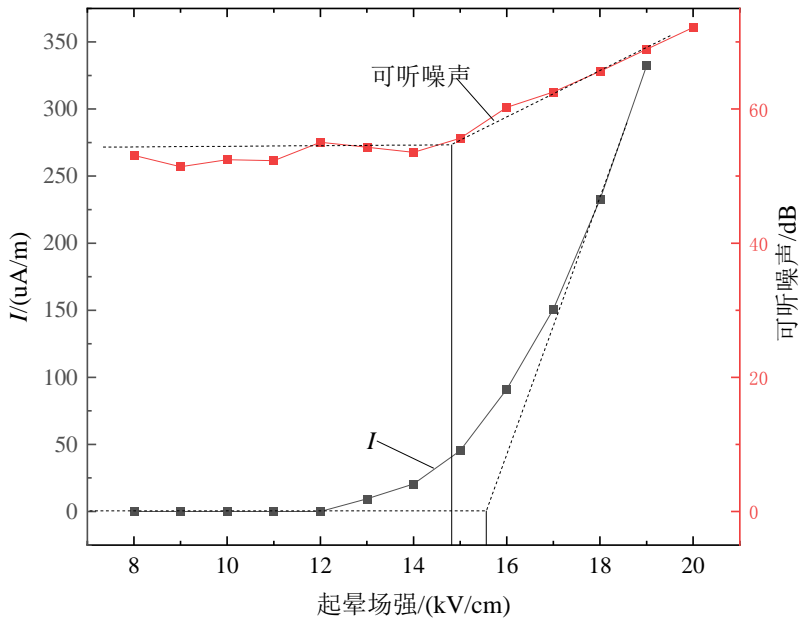
场强。同时引申紫外光子数、可听噪声、无线电干扰等电晕参数也作为判断起晕场强的方法，这三种参量仅可以得到粗略的起晕电压，且无理论依据。紫外光子数，其测量结果受仪器本身特性如增益、同时受外部环境如观测距离、观测角度等因素影响太大。而无线电干扰，其测量结果本身具有饱和特性，故无法得到准确的起晕场强。

以 $8\times JL/G1A630$ 分裂导线在干燥下起晕场强求取为例，利用切线法对 $E-I$ 曲线、 $E-\sqrt{P}$ 曲线、 $E-PH$ 紫外光子数曲线、 $E-RI$ 无线电干扰曲线和 $E-AN$ 可听噪声曲线分别求取起晕场强并进行对比，如图B.2所示。起晕场强对比结果见表B.1。

a) $E-I$ 、 $E-\sqrt{P}$ 曲线对比图b) $E-I$ 曲线、 $E-PH$ 曲线



c) $E - I$ 曲线、 $E - RI(0.5\text{MHz})$ 曲线对比



d) $E - I$ 曲线、 $E - AN$ 曲线对比

图 B.2 五种方法求取起晕场强结果对比

表 B.1 五种方法起晕场强结果对比

单位为千伏每厘米 (kV/cm)

$E - I$ 曲线	$E - \sqrt{P}$ 曲线	$E - PH$ 曲线	$E - RI$ 曲线	$E - AN$ 曲线
15.64	15.88	14.02	10.96	14.75

以干燥条件下场强-阻性电流曲线获得的起晕场强为基准，由表 B.1 可知： $E - I$ 曲线曲线、 $E - \sqrt{P}$ 曲线得到的起晕场强结果基本一致，偏差约为 1.5%；而通过 $E - RI$ 曲线得到的起晕场强偏差约为 10.4%。采用 $E - RI$ 曲线获取的起晕场强计算结果明显偏小，该场强下导线阻性电流很小，应为导线毛刺、划痕及金具连接处随机、离散的电晕放电点所致，而在 Peek 定律也定义，其实该处场强仅为 E 爆发性点放电，此时分裂导线阻性电流很小，而场强-阻性电流曲线获得的场强才是较为真实的 E 可视放电，此时导线全线表面已经出现较弱的放电点，随着场强的进一步增大，导线表面放电点的电晕活动更剧烈，阻性电流呈指数形式增加。而从图 B.2 中可以看出场强较高时，紫外光子数发生明显的拐点，原因可能是当导线场强过大时，电晕放电加剧，而紫外相机观测到的光斑面积是重叠的，且此时进一步增大场强紫外相机光子计数基本保

持不变甚至略有下降趋势，紫外测量结果受拍摄角度、拍摄距离、相机本身的增益及其他参数影响较大。因此，本文件计算方法推导分析中采用 $E - I$ 曲线求取导线起晕场强。

附 录 C
(资料性)
起晕场强预测方法评估

将国家电网公司武汉特高压交流试验基地海拔 19 m 获得的 8×JL/G1A-400、8×JL/G1A-500、8×JL/G1A-630 起晕场强试验值，500kV 超高压用 4×JL/G1A-400 分裂导线在武汉、西宁、格尔木、纳赤台四个海拔点的起晕场强试验值，分别与本文件所提计算公式预测值进行了对比，见表 C.1。可知，对于 2 分裂及以上分裂数导线，继续采用 Peek 公式则计算结果最大偏差为 19.21%，而采用本文件计算方法则最大偏差仅为 2.4%，与试验结果吻合较好，完全满足工程适用要求。进一步验证本文件所提计算方法可适用于海拔 19 m~5000 m 范围内分裂导线起晕场强的计算。

表 C.1 不同海拔地区特高压分裂导线场强计算值与实测值比较

试验地点	海拔高度/m	导线类型	试验值 (kV/cm)	计算值/(kV/cm)		计算偏差/%	
				预测公式	Peek 公式 ($n=0.8$)	预测公式	Peek 公式
武汉	19	8×JL/G1A400	19.92	19.84	21.89	-0.40%	9.89%
		8×JL/G1A500	18.94	18.93	21.65	-0.05%	12.31%
		8×JL/G1A630	17.96	18.05	21.41	0.50%	19.21%
		4×JL/G1A400	23.08	23.11	21.82	0.13%	-5.46%
西宁	2200	4×JL/G1A400	19.99	19.51	17.68	-2.40%	-11.56%
格尔木	2829		18.80	18.56	16.62	-1.28%	-11.59%
纳赤台	3800		16.94	16.90	12.79	-0.24%	-12.69%

参 考 文 献

- [1] Peek F.W. Dielectric Phenomena in High-Voltage Engineering[M]. California: McGraw-Hill, 1929
- [2] Huang Shilong, Liu Yunpeng, Shaoshuai Chen, Daran Liu, Wangling He, Baoquan Wan. Corona Onset Voltage Gradient of Bundle Conductors for EHV/UHV AC Power Lines in Corona Cages Considering the Altitude Correction[J]. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2020, 6(3): 693-703
-