

风力发电场防雷技术规范编写说明

——标准编写小组

一 制定标准的意义

1 风电场区域防雷的技术背景

风电场区域防雷技术研究是我国著名防雷专家杨少杰应省风电协会邀请参加“2018 第四届中国海上风电产业发展国际峰会”并作了《风电场建设雷击风险评估和工程技术的缺陷》的报告后，结合国内外风电场防雷无一例外采用滚球法、保护角法设计，导致雷害不断的现状，经与中国气象局、南京信息工程大学、广东风电等专家研究后提出。

为了解风电防雷的现状，专家会前到了连州，阳江东平，阳西龙高山，电白等风电场实地调研，发现风电直接雷击防护设计采用风叶端点接闪，用滚球法计算保护范围不符合实际，中国 GB50650-2011（2022 年版）《石油化工装置防雷设计规范》4.2.3 规定：转动设备不应用作接闪器。风力发电机属于转动设备，叶片接闪的做法缺乏理论支持。不当应用国家标准 GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》导致风电场雷害不断。雷击导致连州风电风机叶片折损，35kV 集电电缆连接处多处爆裂；东平风电线路避雷器爆裂，690V 避雷器爆裂，主变绝缘击穿；阳西风电雷击整机瘫痪；电白风电多部风机光纤端点断裂，全场风机光纤受影响。

在国内，风电场防雷设计依然采用滚球法。与广东各个风电场雷击事故不断一样，雷击事故频繁（2021 年 8 月 28 日广东粤电湛江新寮项目 3#风机雷击烧毁）。中广核云南彝山风电场，湖北大悟擂鼓台风电场，四川盐源华电风电场，山东金风风电场，江西兴国风电场等雷击事故每年都在发生。2017 年 7 月 14 日，国家电投集团江苏盐城滨海海域风电平台雷击起火，19 名工人跳海求生，18 人获救，1 人下落不明。

国际上，风电场防雷设计同样采用滚球法或保护角法。最严重的一次雷击事故是 2019 年 8 月 22 日世界最大海上风电场遭雷击，导致超过 100 万英国住户大停电，包括伦敦在内的部分重要城市出现地铁与城际火车停运、道路交通信号中断等，市民被困在铁路或者地铁中，居民正常生活受到影响。据德国、丹麦、瑞典等欧洲国家统计，雷电引起故障的频率每年每百台机组达 3.9-8 次。

国内外风电场雷击事故的严重性已经成为防雷领域五大国际技术难题之一（海陆风电、高压送电、户外化工、高速公路、森林雷击火）。严重的雷击灾害说明，在中国建筑物雷电灾害已经基本得到有效控制的今天，风电场等户外现代化设施却依然雷害不断。毫无疑问，

要解决风电场等户外现代化设施的雷电防护问题，需要有新的理论、方法和新产品，按照传统的防雷理论和方法，将无法改变现状。

2 区域防雷理论和技术方法

杨少杰（2018）重新定义了避雷针的工作原理：“在雷电下行先导端部电场作用下，避雷针尖端达到电晕阈值电离周围空气产生正负离子。受库仑定律约束，其与雷电下行先导端部电场极性相反的离子受到电场力的吸引形成上行先导（电晕电流，又叫流光），向雷电下行先导端部运动并相连接，把雷电吸引到针尖（建立雷电放电通道并把雷电流泄放到地）；其与雷电下行先导端部电场极性相同的离子受到电场力的排斥和风的共同作用（平流输送），向下风向区域扩散形成离子云（屏蔽层），抑制地面物体尖端电晕电流的增长”。

杨少杰（2018）提出了区域防雷新理论：“在保护区域雷击路径上风向安装雷电拦截器有效拦截（吸引）雷电，雷击点下风向有限区域地面物体尖端电晕电流等于零。地面物体尖端具有吸引和屏蔽雷电的双重作用，同时利用地面物体尖端对雷电的吸引和屏蔽作用，可预防下风向有限区域内直接雷击的发生”。

其数学表达式（区域防雷第一、第二方程组）：

$$\begin{aligned}
 F &= 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} (\text{N}) \dots\dots (1) \quad [\text{Coulomb 1785}] & E &= \frac{1.8 \times 10^{10} Q}{H^2} (\text{V/m}) \dots\dots (4) \quad [\text{R.H.Golde 1945}] \\
 \sum_{r=0}^{-r} i &= 0 (\text{A}) \dots\dots (2) \quad [\text{Y.2018}] & i &= a(V - V_0)(W^2 + C^2 V^2)^{\frac{1}{2}} (\text{A}) \dots\dots (5) \quad [\text{Whipple 1936}] \\
 A &= \frac{\pi r^2}{2} (m^2) \dots\dots (3) \quad [\text{Y.2018}] & \Delta E &\approx \frac{l}{2\pi\epsilon_0 V h} \left[1 + \frac{d}{(d^2 + h^2)^{\frac{1}{2}}} \right] (\text{V/m}) \dots\dots (6) \quad [\text{Ogden 1968}]
 \end{aligned}$$

第一方程组

第二方程组

区域防雷第一、第二方程组量化了雷电下行先导与地面尖端上行先导之间吸引力、电晕离子覆盖层下面尖端物体上行先导的抑制、拦截点下风向区域的保护范围（半圆法）；不同高度下行先导的电场强度、风与尖端物体电晕能力的影响、拦截点下风向的电场梯度分布等主要的物理参数，是理解区域防雷理论和技术方法，开展区域防雷风险评估和设计的主要科学依据。

区域防雷理论揭示了雷电对地面物体尖端放电的一般规律，其内涵是对雷电活动和地面物体尖端吸引和屏蔽雷电规律的认知。经长期实践，具有抽象、逻辑、系统性并经工程实践检验，证明了在雷击点下风向一个特定区域内不再发生直接雷击的推论性结论，是自 1752 年富兰克林发明避雷针和 1823 年法国科学院盖·吕萨克、1880 年普里斯提出保护角法以来

雷电防护领域的理论创新。

3. 区域防雷理论和技术应用效果

2020 年，广东风力发电有限公司结合风电场防雷的迫切需要，立项开展“电白风电场区域防雷工程技术研发项目（G D W—P K—2 1 0 2 2）”研究。经过近 5 年雷暴期的考验，取得显著效果。2022 年，经中科院电工所三维闪电监测系统检索，在风电场 20km² 范围内，共经受 96 个雷暴日，1778 次雷击，其中负闪最大电流-193.4kA，正闪最大电流+192.3kA，实现风电场连续三年 0 雷害。2023 年 11 月获得中国电力科技成果“金苹果奖”二等奖。

2021 年，四川华电专程到电白热水风电场考察后，在四川华电大凉山风电场 6 条 35kV 送电线路中、3 条总长度约 26km 的线路应用区域防雷理论和技术方法，安装了雷电拦截器 JD-MS-T45-1，线路经受多次雷击考验，高压开关未出现跳闸现象；而未安装雷电拦截器的另外三条线路，高压开关多次跳闸。2023 年 4 月获得全国电力行业设备管理创新一等奖，2024 年 4 月经科技部国际查新（报告编号：J20245001262632787），申请华电集团科技进步一等奖。

2022 年，珠海金湾海上风电场雷击导致多部风机 EPD 损坏，立项开展区域防雷理论应用研究（YJW-PK-23010），至 2023 年 12 月，拦截了 16 次雷击（6#风机 6 次，18#风机 8 次，45#风机 2 次），未发生设备损坏现象。

2022 年 9 月，电白风电场区域防雷应用研究项目经科技部国际查新（报告编号：A202200267），由中国气象局、IEEE 中国区高压测量分会、南京信息工程大学、广东海洋大学等专家组成的科技成果鉴定委员会，鉴定结论为：本项目达到了有效的风电场雷电防护效果，整体达到了国内领先水平；其中基于色散波导谐振腔体技术的雷电拦截器达到了国际领先水平。

4. 制定标准的意义

1) 风电场防雷目前处于无标准可用状态

目前，国外风电场（风机）的防雷设计采用 IEC61400-24/2019《Wind energy generation systems - Part 24: Lightning protection》，中国采用 GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》，均按照保护角法进行直接雷击防护设计。然而，风机叶片接闪不符合国家防雷标准：GB50650-2011（2022 年版）《石油化工装置防雷设计规范》4.2.3 规定：转动设备不应用作接闪器。风力发电机属于转动设备，叶片接闪的做法缺乏理论支持。

尽管 IEC 在“2018 第四届中国海上风电产业发展国际峰会”后，于 2019 年修订了 IEC61400-24/2019 《Wind energy generation systems - Part 24: Lightning protection》，在 8.2.4.1 接闪器系统中规定：“在 IEC 62305-3 中介绍的接闪器系统定位工具（滚球法、保护角法等）不适用于风轮叶片”，否定了滚球法在风机保护的应用，但并没有提出用何种方法进行设计，风电场直接雷击防护目前处于无标准可用状态。

2) 制定风电防雷技术标准，避免或减轻风电场雷击灾害。

从 2018 年提出区域防雷理论到 2023 年六年来，风电场应用区域防雷新理论，新技术取得了防雷减灾的显著效果，获得了大量技术参数，为制定风电场区域防雷技术标准提供了科学技术支撑，避免或减轻风电场雷击灾害，保障风电领域的安全运行，是制定本标准的目的。本标准的制定，将实现风电场防雷理论和技术的重大突破，填补国际空白；将大大减少雷电灾害导致风电场的经济损失和安全隐患，具有重要意义。

二 任务来源及起草过程

本标准草案根据省风电公司的要求，由省风电、粤电阳江海上风电分公司牵头组织编制，由省风电公司、广东佛山顺德金盾防雷技术发展有限公司作为主要起草单位，邀请中国气象局、南京信息工程大学、广东海洋大学等等科研机构及行业内公司参与编制工作。

计划项目完成时间：2024 年 10 月 1 日。

本标准负责起草单位：广东风力发电有限公司（简称省风电，下同）、

本标准参加起草单位：中国气象局、南京信息工程大学、广东海洋大学、中广核...

本标准主要起草人：杨少杰、张尤君、行九晖、王元强、李劲、李高、公方涛、郭仁宏、姚立鑫、颜云、康凯、丘翊仙、史忠秋、陈珍、黄昱、...

起草工作阶段：根据省风电要求，金盾公司于 2023 年 6 月成立了标准编制工作起草小组，组织标准编制组织工作。标准编制工作起草小组在 2023 年 6 月积极组织筹备和征集标准起草单位。经过半年的征集、评审和筛选并最终确定了标准起草工作组的成员单位，成立了标准起草工作组。

标准起草工作组制定了标准编制工作计划、编写大纲，明确任务分工及各阶段进度时间。同时，标准起草工作组成员认真学习了 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》，GB/T 20000.2—2009《标准化工作指南 第 2 部分：采用国际标准的规则》，结合标准制定工作程序的各个环节，进行了探讨和研究。

标准起草工作组经过技术调研、咨询，收集、消化有关资料，并结合海陆风电场区域防

雷应用的效果、实践经验和现状、以及区域防雷技术发展趋势，以“电白风电场区域防雷工程技术研发项目”“珠海金湾海上风电场强电磁脉冲防护技术研究”“四川华电大凉山高海拔风电场雷电拦截技术研究”的应用技术为主要参考依据，于 2023 年 9 月编写完成了标准《风力发电场区域防雷技术规范》的草案稿。

三 标准的基本结构和内容

前言 错误！未定义书签。

1 范围 错误！未定义书签。

2 规范性引用文件 错误！未定义书签。

3 术语和定义 1

4 一般要求 10

5 现场勘测 10

6 雷击风险评估 13

7 区域防雷设计 18

8 自然雷电多脉冲智慧监测系统 20

9 雷电拦截器现场安装及运维要求 21

附录 A（规范性）雷电拦截器工作原理及技术参数 24

附录 B（规范性）雷电拦截器对雷击点电流的衰减效率 26

附录 C（资料性）多脉冲电涌保护器 MSPD 和高能吸收器 HEA 的技术参数 28

附录 D（规范性）风电场区域防雷装置检测项目及技术指标 30

四 采用国际标准和国外先进标准的情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况

本标准直接雷击防护和雷击风险评估没有采用国际标准。本标准在制定过程中未查到区域防雷理论和技术的同类国际标准。

本标准雷电电磁脉冲防护采用了 IEC 61643—11:2011/2PFG（2017）《连接到低压电力系统的多脉冲浪涌保护装置附加试验—性能要求和试验方法》（金盾公司授权标准）

主要参考：

T/GZLY 2-2022《楼宇建筑防雷技术评价指南》

T/A SC6004—2022《低压配电系统的多脉冲电涌保护器—性能要求和试验方法》

IEC61400-24-2019《风能源系统雷电保护》

YD/T 901—2018《通信用层绞式室外光缆》

IEC 61643--11:2011/2PFG (2017) 《连接到低压电力系统的多脉冲浪涌保护装置附加试验-性能要求和试验方法》

NFC 17-102—2011 《雷电防护：提前放电的防雷系统》

IEC 62305-2—2010 《雷电防护第 2 部分：风险管理》

GB 50057—2010 《建筑物防雷设计规范》

GB/T 19271.1--2003/IEC 61312-1:1995 《雷电电磁脉冲防护 第 1 部分:通则》

GB/T 19271.2--2005/IEC TS 61312-2:1999 《雷电电磁脉冲防护 第 2 部分:建筑物的屏蔽、内部等电位连接及接地》

GB/T 19271.3--2005/IEC TS 61312-3:2000 《雷电电磁脉冲防护 第 3 部分:对浪涌保护器的要求》

GB/T 19271.4--2005/IEC TR2 61312-4:1998 《雷电电磁脉冲防护 第 4 部分:现有建筑物内设备的保护》

未见国家标准，行业标准和省外标准制定发布风电场区域防雷技术标准。

从 2022 年 9 月（报告编号：A202200267 广东科技情报所）和 2024 年 4 月（报告编号：J20245001262632787 科技部西南信息中心查新中心）的国际查新结论，，本标准区域防雷理论和技术的总体技术属于填补国内国际空白，达到国际领先水平。

五 标准与现行法律法规的关系

本标准符合中华人民共和国和地方的有关法律法规。

广东风力发电有限公司
《风力发电场区域防雷技术规范》编写小组
2024 年 5 月 28 日